

Zur Diagnose und integrierten
Bekämpfung Holz zerstörender Insekten
unter besonderer Berücksichtigung der
Buntkäfer (Coleoptera, Cleridae) als
deren natürliche Gegenspieler in
historischen Gebäuden

von Tilo Haustein

Fraunhofer IRB Verlag

urn:nbn:de:gbv:28-diss2010-0054-6

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

ISBN: 978-3-8167-8248-3

Druck: Mediendiensteleistungen des
Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB, Stuttgart

Für den Druck des Buches wurde chlor- und säurefreies Papier verwendet.

© by **Fraunhofer IRB Verlag**, 2010

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB

Postfach 80 04 69, 70504 Stuttgart

Telefon 0711 970-2500

Telefax 0711 970-2508

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

URL <http://www.baufachinformation.de>

Alle Rechte vorbehalten

Dieses Werk ist einschließlich aller seiner Teile urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die über die engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes hinausgeht, ist ohne schriftliche Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen sowie die Speicherung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen und Handelsnamen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass solche Bezeichnungen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und deshalb von jedermann benutzt werden dürften. Soweit in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z.B. DIN, VDI) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden ist, kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen.

Tilo Haustein

Zur Diagnose und integrierten Bekämpfung
Holz zerstörender Insekten
unter besonderer Berücksichtigung
der Buntkäfer (Coleoptera, Cleridae)
als deren natürliche Gegenspieler
in historischen Gebäuden

Universität Rostock
Agrar- und Umweltwissenschaftlichen Fakultät
Institut für Umweltingenieurwesen

Die vorliegende Schrift ist eine von der Agrar- und Umweltwissenschaftlichen Fakultät der Universität Rostock genehmigte Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing.). Die Verteidigung fand am 15. Januar 2010 in Rostock statt.

Die Gutachten wurden vorgelegt von:

Prof. Dr.-Ing. Ulrich Diederichs (Hauptreferat)
Universität Rostock

Prof. Dr. rer. nat. Claudia von Laar (Korreferat)
Hochschule Wismar

Prof. Dr. rer. nat. agr. habil. Roland Gerstmeier (Korreferat)
Technische Universität München

Für Vera

1	Einleitung	7
1.1	Holz zerstörende Insekten in Bauwerken	7
1.2	Stand des Wissens	8
1.2.1	Monitoring der Schädlinge und ihrer natürlichen Feinde.	8
1.2.2	Zur Lebensweise und Zucht einheimischer Nage- und Buntkäfer	10
1.2.3	Begasung mit Sulfuryldifluorid	18
1.2.4	Apparative Schadensdiagnose	20
1.3	Wissenschaftliche Zielsetzung und Forschungsansatz	21
2	Labor- und Felduntersuchungen	24
2.1	Untersuchungsgebiet und Bauwerke	24
2.2	Monitoring der Schädlinge, natürlicher Feinde und der Klimadaten	25
2.3	Ergänzende Freilandversuche zur Lebensweise von Buntkäfern	29
2.4	Laborversuche mit Buntkäfern	29
2.5	Apparative Schadensdiagnose	34
2.6	Statistische Auswertung	37
3	Untersuchungsergebnisse und Auswertung	38
3.1	Monitoring der Schädlinge und ihrer natürlichen Feinde.	38
3.1.1	Papierabklebungen	38
3.1.2	Nachweis der Zielarten am Schlupfloch im Papier	44
3.1.3	Klebefallen	47
3.1.4	Aufsammlungen	51
3.1.5	Freilandversuche zur Lebensweise der Buntkäfer	52
3.1.6	Holzfeuchte- und Raumklimamessungen	56
3.2	Laborversuche mit Buntkäfern	60
3.2.1	Anzuchtversuche mit Buntkäfern	60
3.2.2	Begasung mit Sulfuryldifluorid	69
3.3	Apparative Schadensdiagnose	73
3.3.1	Nachweis von Insektenschäden mit der Bohrwiderstandsmessung	73
3.3.2	Nachweis von Insektenschäden mit dem Ultraschallechoverfahren	82

4	Diskussion	88
4.1	Monitoring der Schädlinge und ihrer natürlichen Feinde	88
4.2	Laborversuche mit Buntkäfern	97
4.2.1	Anzuchtversuche mit Buntkäfern	97
4.2.2	Begasung mit Sulfuryldifluorid	100
4.3	Apparative Schadensdiagnose	102
5	Zusammenfassung	106
	Summary	110
6	Ausblick	114
	Perspective	115
7	Literatur	116
	Verzeichnis der Abkürzungen	129
	Verzeichnis der Abbildungen	130
	Verzeichnis der Tabellen	134
	Glossarium	137
8	Anhang	139
8.1	Monitoring der Schädlinge und ihrer natürlichen Feinde	139
8.2	Laborversuche mit Buntkäfern	165
8.3	Apparative Schadensdiagnose	172
	Danksagung	174

1 Einleitung

1.1 Holz zerstörende Insekten in Bauwerken

Holz ist ein natürlicher und vielseitig verwendbarer Roh- und Baustoff. Er hat in allen Kulturepochen der Menschheit eine wichtige Rolle gespielt. Bei den vielen Vorteilen, die der Baustoff bietet, darf nicht übersehen werden, dass Holz als organisches Produkt dem Stoffkreislauf der Natur unterworfen ist. Es wird von lebenden Organismen angegriffen und zerstört. Die Einwirkungen holzabbauender Lebewesen zu verhindern ist ein wirtschaftliches Interesse, um Gebrauchstauglichkeit, Nutzbarkeit und Aussehen von Holzbauteilen über lange Zeit zu erhalten.

Neben den Pilzen sind Insekten bedeutende Holzzerstörer. Mit reichlich einer Million beschriebener rezenter Arten stellen sie die bei weitem umfangreichste Tierartengruppe dar. In unserer kaltgemäßigten Region besitzen die Käfer (Coleoptera) die größte Bedeutung als Holzschädlinge. In der tropischen Region sind es insbesondere die Termiten (Isoptera). Holzschädlinge nutzen Holz als Lebensraum und Nahrung. Als ursprüngliche Forstinsekten haben einige Arten ihre ökologische Nische im Bauwerk gefunden. Sie gedeihen im verbauten Holz, in Kunstwerken und Holzgegenständen. Zu ihrer Bekämpfung und als vorbeugende Maßnahme werden häufig chemische Mittel eingesetzt. Ihr Einsatz ist durch Rückstandsprobleme, Resistenzen und die Beeinträchtigung natürlicher Schädlingsfeinde mit Nachteilen verbunden. In der landwirtschaftlichen Praxis wurde aus Sorge um ökologische Schäden durch unkontrollierte Pestizidanwendung bereits in den 1960er Jahren das Konzept der Integrierten Schädlingsbekämpfung entwickelt. Man bedient sich dabei eines komplexen Systems unter vorrangiger Berücksichtigung biologischer, biotechnischer und anderer Maßnahmen.

Für die Baudenkmalpflege und den Holzschutz am Bauwerk ist die integrierte Schädlingsbekämpfung ein neuer umweltgerechter Ansatz. Sie umfasst die Diagnose und Früherkennung von Schadorganismen, deren zielgerichtete Bekämpfung unter Schonung des übrigen Artenbestandes und die Anwendung präventiver Maßnahmen durch Veränderung der Klimabedingungen zu Ungunsten der Schädlinge.

Innerhalb des integrierten Konzepts besitzt die Überwachung von Schädlingspopulationen eine besondere Bedeutung. Diese als Monitoring bezeichnete Methode ermöglicht es, Schädlinge im Bauwerk und deren natürliche Feinde auffindig zu machen und deren Befallsdichte zu ermitteln. Ziel ist es, die Bekämpfungsmaßnahme dem Schädlingsproblem anzupassen. Für mehrere räuberische und parasitische Arten von Gliederfüßern ist belegt, dass diese im Bauwerk vorkommende Holzschädlinge angreifen. Dabei sind insbesondere Bunkkäferlarven in der Lage, tief in das Holz einzudringen, um Beute aufzuspüren. Gestützt durch Erfolge in der Landwirtschaft, zielen auch Bestrebungen im Holzschutz darauf ab, Schadinsekten mit Hilfe biologischer Bekämpfungsmaßnahmen durch den Einsatz natürlicher Feinde einzudämmen. Bunkkäfer sind dafür möglicherweise geeignete Kandidaten. Allerdings ist deren Eignung durch entsprechende Untersuchungen noch zu belegen.

Holzinsekten verursachen wirtschaftlich bedeutende Materialschäden. Sie entstehen im Wesentlichen durch deren Ernährungsfraß. Die Einschätzung der im Holzininneren vorhandenen Fraßschäden ist häufig schwierig, jedoch notwendig, um den Umfang von Festigungsarbeiten festzulegen oder die Standsicherheit beurteilen zu können. Insbesondere im Denkmalschutz wird zur Bewahrung der Originalität wertvoller Substanz die zerstörungsarme oder zerstörungsfreie Prüfung gefordert. Eine substanzschonende in-situ-Untersuchung erweist sich jedoch häufig als schwierig. Es dominiert die zerstörende Bohrkernentnahme.

1.2 Stand des Wissens

1.2.1 Monitoring der Schädlinge und ihrer natürlichen Feinde

Erhebungen zum Vorkommen von Holzinsekten im Gebäude

Das Vorkommen von verschiedenen Insektenarten wird weltweit in Katalogen ausgewiesen. Deren Daten basieren auf Fundmeldungen. Für die Käfer Mitteleuropas hat beispielsweise BÖHME (2005) deren Verbreitung erfasst.

Erhebungen im Bauwerk sind aus wirtschaftlicher Sicht auf materialschädigende Insektenarten ausgerichtet. Einen Schwerpunkt bilden Holzinsekten. Bedingt durch den dafür erforderlichen Aufwand, sind flächendeckende Erhebungen im Bauwerk zum Vorkommen von Holz zerstörenden Insekten jedoch selten ausgeführt worden. Auf der Basis von Literaturangaben hatte BECKER (1978) für den Hausbockkäfer (*Hylotrupes bajulus*) versucht, seine weltweite Verbreitung zu erfassen. Aus Europa sind Befallserhebungen für bestimmte Gebäudegruppen aus Schweden durch TRÄGÅRDH (1938) und später durch BUTOVITSCH (1951) bekannt. Während TRÄGÅRDH die Erhebung in öffentlichen Gebäuden einschließlich Kirchen und Wohnhäusern mit Hilfe von Fragebögen vornahm, führte BUTOVITSCH Stichprobenuntersuchungen in Wohnhäusern der südschwedischen Provinzen Blekinge und Kalmar durch. Beide Erhebungen dokumentieren das Vorkommen des Hausbockkäfers (*H. bajulus*) und des Gewöhnlichen Nagekäfers (*Anobium punctatum*) als häufigste Schadinsekten in schwedischen Bauwerken.

Die einzige deutschlandweite Befallserhebung in Gebäuden erfolgte im Jahre 1936/37. Sie umfasste das damalige gesamte Deutschland und war auf den Hausbockkäfer ausgerichtet. Die Erhebung wurde vom Verband der öffentlichen Feuerversicherungsanstalten in Deutschland auf Wunsch des Reichs- und Preußischen Arbeitsministeriums übernommen und von über 1.000 Baufachleuten durchgeführt (FRANZKE et al. 1938). Nach dieser Erhebung bestand für Mecklenburg-Vorpommern eine hohe Befallsdichte. Eine Aktualisierung dieser Erhebung wurde nicht mehr durchgeführt. Die vorhandene Datenlage zum Vorkommen dieses Schädlings ist über 70 Jahre alt.

Monitoring Holz zerstörender Insekten

Unter Monitoring versteht man die Überwachung des Auftretens bzw. der Dichte von Populationen speziell bei Schadorganismen (KRIEG & FRANZ 1989). Untersuchungen im Holzschutz zum Schädlingsmonitoring sind aus drei Projekten bekannt. Es handelt sich um Forschungsprojekte aus Dänemark, Großbritannien und Deutschland.

In Dänemark wurden von 1994 bis 1996 in neun Kirchenbauwerken des Landes ein Monitoring des Gewöhnlichen Nagekäfers (*A. punctatum*) durchgeführt (HANSEN 1998). Für die Erfassung des Schädlings wurden Abklebungen aus weißem Papier und drei verschiedene Klebefallentypen eingesetzt. Es handelte sich jeweils um eine orangefarbene zylinderförmige Falle, eine großformatige Klebefalle im Farbton Weiß sowie um eine Pheromonfalle mit dem Sexuallockstoff „Stegobinone“. Die Untersuchungen in den Kirchendachstühlen ergaben anhand der Fallenfänge einen geringen aktiven Schädlingsbefall. Es wurde festgestellt, dass in Kirchen mit vielen Schlupflöchern auch mehr Käfer auf den Fallen gefangen wurden und bei einer höheren Holzfeuchte die Schädlingsaktivität zunimmt. Natürliche Gegenspieler blieben bei diesem Projekt unberücksichtigt.

In Großbritannien wurde von 1994 bis 1997 ein europäisch gefördertes Projekt unter Leitung von English Heritage zum besseren Verständnis der Lebensweise des Gescheckten Nagekäfers (*Xestobium rufovillosum*) durchgeführt. Die Felduntersuchungen zu diesem Schädling erfolgten in vier historischen Bauwerken: Salisbury und Winchester Cathedral, Bishopstone Church sowie Kew Palace in den Royal Botanic Gardens von Kew (BELMAIN et al. 1998, 1999 a). Anlass des Projektes war die zunehmende Feststellung von Schäden durch den Gescheckten Nagekäfer im verbauten Holz denkmalgeschützter Gebäude Großbritanniens, obwohl chemische Holzschutzmaßnahmen durchgeführt wurden (RIDOUT 2001 a). Für das Monitoring dieser Schadinsektenart wurden Klebefallen unterschiedlicher Farbe und Größe verwendet (SIMMONDS et al. 2001). Dazu wurden kleinformatige rot-, gelb-, blau- und weißfarbige Papierkarten und lange Klebestreifen aus grünem bzw. gelbbraunem Papier, die mit Insektenleim eingestrichen wurden, eingesetzt. Ergänzend kamen Lichtfallen und Lockstofffallen mit Pilzextrakt zur Anwendung. Die Untersuchungen zeigten, dass der Anteil des Gescheckten Nagekäfers 33 bis 40% der gefangenen Gliederfüßer (Arthropoden) umfasst. Mit der weißen Klebepappe wurden die meisten Gescheckten Nagekäfer gefangen. Ein Nachweis räuberischer Buntkäfer blieb unter 1% des Gesamtfanges und ist ausschließlich auf den Blauen Fellkäfer (*Korynetes caeruleus*) begrenzt. Papierabklebungen wurden nur zur Befallsfeststellung des Gescheckten Nagekäfers eingesetzt.

In Deutschland wurde im Rahmen eines Projektes der Deutschen Bundesstiftung Umwelt von 2004 bis 2007 das Prinzip der Integrierten Schädlingsbekämpfung im Westfälische Freilichtmuseum Detmold erprobt (NOLDT 2007). Einen Befallsschwerpunkt des historischen Gebäudebestandes dieses Museums stellt der Gescheckte Nagekäfer (*X. rufovillosum*) dar (NOLDT et al. 2000). Ziel des Projektes war die „Entwicklung und Optimierung umweltverträglicher Verfahren zu Monitoring, Prävention und Bekämpfung von Schädlingen in historischen Baukonstruktionen aus Holz“ (MICHELS & NOLDT 2007). Zur Bekämpfung des Schädlings erfolgten

Versuche mit dem feuchtegeregelten Warmluftverfahren sowie mit dem Mikrowellenverfahren. Für das Monitoring der Schadinsekten wurden insbesondere Papierabklebungen, Lichtfallen, weißfarbige Klebefolien, Pheromon- und Lockstofffallen sowie Hängekästen eingesetzt (NOLDT et al. 2003). Diese wurden bereits seit 1999 durch das Institut für Holztechnologie und Holzbiologie des Johann Heinrich von Thünen-Instituts (vTI) Hamburg (vor dem 01.01.2008 Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft), in Freilichtmuseen, Kirchen, Mühlen, Burgen sowie Sammlungen und Depots angewendet (NOLDT 2006). Die Ergebnisse des Projektes zeigten, dass die Effizienz der Fallen sehr unterschiedlich ist und mittels Papierabklebung die Befallsdichte dokumentiert werden kann.

Die Papierabklebung wurde insbesondere im European Commission Woodcare Project neu eingeführt. Die Einfachheit der Methode lässt aber vermuten, dass sie auch schon vorher angewendet wurde (RIDOUT, pers. Mit.). So soll die erste Anwendung dieser Methode mehr zufällig ca. 1990 im Weald & Downland Open Air Museum, Singleton, GB, erfolgt sein (NOLDT, pers. Mit.). Unterstützt wird der Einsatz der Papierabklebung auch seit längerer Zeit vom dänischen Schädlingslabor (HANSEN, pers. Mit.).

Die beschriebenen Projekte waren mit Ausnahme des deutschen Projektes insbesondere auf den Schädling ausgerichtet. Über ein Monitoring von Nützlingen liegen für den Holzschutz nur wenige Untersuchungen vor.

1.2.2 Zur Lebensweise und Zucht einheimischer Nage- und Buntkäfer

Insgesamt umfasst die Familie der Nagekäfer (Anobiidae) weltweit über 150 Gattungen und mehr als 1.600 Spezies (WHITE 1982). Prüftier in der europäischen Holzschutzmittelprüfung ist der Gewöhnliche Nagekäfer (*A. punctatum*). Er wird auf künstlichem Nährmedium gezüchtet. Eine ehemals für die Holzschutzmittelforschung in Deutschland vorhandene Zucht des Gescheckten Nagekäfers (*X. rufovillosum*) wurde nach Großbritannien verkauft (PALLASKE, pers. Mit.).

Buntkäfer sind auf der ganzen Welt verbreitet. Der Verbreitungsschwerpunkt liegt in den Tropen und Subtropen. Im Weltkatalog von CORPORAAL (1950) werden 3.366 Buntkäferarten beschrieben. Für die West-Paläarktis erfasste GERSTMEIER (1998) den derzeitigen Stand in der Erforschung der Buntkäfer von über 100 Arten anhand von Bestimmungsschlüsseln, Habituszeichnungen und Verbreitungskarten. Für Deutschland als kaltgemäßigte Region werden 24 Cleridenarten einschließlich vier importierter Arten gelistet (KÖHLER & KLAUSNITZER 1998). Eine Zusammenfassung des Wissenstandes zur Lebensweise und Biologie der Zielarten ist im Anhang dargestellt.

Buntkäfer wurden mit Ausnahme des im Forst vorkommenden Ameisenbuntkäfers (*Thanasimus formicarius*) bisher noch nicht gezüchtet und sind daher Ziel dieser Arbeit. Mit

Untersuchungen zur Vermehrungsmöglichkeit von Buntkäfern kann deren Eignung für eine biologische Bekämpfung von Holzschädlingen beurteilt werden. Zuchtversuche liefern zugleich wichtige Erkenntnisse zur Biologie der Arten.

Eine Zusammenstellung in der Literatur erwähnter Räuber-Beute- und Wirt-Parasitoid-Beziehungen für die untersuchten Nagekäferarten enthält Tabelle 1. Angaben zur Effektivität der Beziehungen fehlen bisher. Die Durchführung von Fütterungsversuchen ermöglicht eine Abschätzung der prädatorischen Kapazität von Buntkäfern in der Räuber-Beute-Beziehung.

Tabelle 1: Natürliche Feinde der Nagekäfer aus den Familien der Buntkäfer (Col., Cleridae), Zipfelkäfer (Col., Malachiidae), Brackwespen (Hymenoptera, Braconidae), Ameisenwespen (Hymenoptera, Bethyridae), Erzwespen (Hymenoptera, Chalcididae), Milben (Arachnida, Acari) und Echte Spinnen (Arachnida, Araneae) nach Literaturangaben

Taxonomische Familie	Spezies	Beute-/Wirtsart	Literatur
Coleoptera: Cleridae	<i>Korynetes caeruleus</i> (DEGEER, 1775)	<i>Anobium punctatum</i>	KEMNER 1915 BECKER 1942 a VITÉ 1952 HICKIN 1963
		<i>Xestobium rufillosum</i>	HICKIN 1963 BELMAIN et al. 1999 b NOLDT 2007
	<i>Opilo domesticus</i> (STURM, 1837)	<i>Anobium punctatum</i>	KEMNER 1915 STEINER 1938 BECKER 1942 a, 1950
	<i>Tillus elongatus</i> (LINNAEUS, 1758)	<i>Ptilinus pectinicornis</i>	KEMNER 1915 CYMOREK 1974 GERSTMEIER 1998
Coleoptera: Malachiidae	<i>Anthocomus bipunctatus</i> (HARRER, 1784)	<i>Anobium punctatum</i>	BECKER 1942 a
Hymenoptera: Braconidae	<i>Spathius exarator</i> (LINNAEUS, 1758)	<i>Anobium punctatum</i>	VITÉ 1952 BECKER 1942 a, 1950, 1954 LYNGNENS 1955 WEIDNER & SELLENSCHLO 2003
	<i>Hecabolus sulcatus</i> (CURTIS, 1834)	<i>Ptilinus pectinicornis</i>	RATZEBURG 1848 FISCHER 1965 SHENEFELT & MARSH 1976

Taxonomische Familie	Spezies	Beute-/Wirtsart	Literatur
Hymenoptera: Bethyridae	<i>Cephalonomia gallicola</i> (ASHMEAD, 1887)	<i>Anobium punctatum</i>	PAUL et al. 2007
	<i>Cephalonomia rufa</i> (KIEFFER, 1906)	<i>Anobium punctatum</i>	BECKER 1954
	<i>Sclerodermus brevicornis</i> (KIEFFER, 1906)	<i>Anobium punctatum</i>	
	<i>Parascleroderma unicolor</i> (WESTWOOD, 1839)	<i>Anobium punctatum</i>	
Hymenoptera: Chalcididae	<i>Cerocephala cornigera</i> (WESTWOOD, 1832)	<i>Anobium punctatum</i>	BECKER 1942 a
	<i>Theocolax formiciformis</i> (WESTWOOD, 1832)	<i>Anobium punctatum</i>	BECKER 1942 a, 1954 HICKIN 1963, 1969 BECKER & WEBER 1952 WEIDNER & SELLENSCHLO 2003
Arachnida: Acari	<i>Pyemotes ventricosus</i> (NEWPORT, 1850)	<i>Anobium punctatum</i>	BECKER 1942 a, 1954 HICKIN 1963
Arachnida: Araneae	<i>Pholcus phalangioides</i> (FUSSLIN, 1775)	<i>Xestobium rufovillosum</i>	RIDOUT 2000
	<i>Tegenaria domestica</i> (CLERCK, 1757)	<i>Xestobium rufovillosum</i>	RIDOUT 2001 b

Nagekäfer (Coleoptera, Anobiidae)

Gewöhnlicher Nagekäfer *Anobium punctatum* (DEGEER, 1774)

Der Käfer, der ursprünglich aus Europa stammt, hat sich weltweit verbreitet (BERRY 1995) und wird in Australien (PETERS & FITZGERALD 1996), Neuseeland, Südafrika und in Teilen von Nordamerika (WHITE 1982) vorgefunden (HICKIN 1963). Für Deutschland ist der Gewöhnliche Nagekäfer die häufigste Anobien-Art (BECKER 1940, 1950). Für Großbritannien nennen ihn PINNINGER & CHILD (1996) als einen der wichtigsten Holzzerstörer.

Die Käfer sind 3 (selten 2) bis 5 mm lang (BECKER 1983), wobei die Weibchen im Allgemeinen größer und dicker als die Männchen sind (CYMOREK 1975, KELSEY et al. 1945). Die Adulti erscheinen von April bis August (BECKER 1983), zumeist im Mai und Juni (BECKER 1950, VITÉ 1952). Die Geschlechter finden sich durch einen Sexuallockstoff der Weibchen (CYMOREK 1964).

Die Eianzahl ist relativ gering und beträgt nach BECKER (1940) etwa 20 bis 40 Stück, TOKSINA (1966) nennt ungefähr 15 bis 20 Eier und HICKIN (1963) 20 bis 60 Eier je Weibchen.

Das Larvenstadium liegt bei zwei bis drei Jahren (BECKER 1940, 1942 a, HICKIN 1963), wobei mit zunehmender Luftfeuchtigkeit die Entwicklungsgeschwindigkeit zunimmt.

Über fast kreisrunde Schlupflöcher verlassen die adulten Käfer das Holz und je nach Körpergröße des Tieres variieren die Schlupflöcher zwischen ein und zwei Millimetern im Durchmesser (BECKER 1983, PINNIGER 2001). Die Lebensdauer der Käfer liegt bei zwei bis drei Wochen (HICKIN 1963), nach Zuchtversuchen von BECKER (1940) bei > 20 Tagen. Die Imagine sind lauf- und flugfähig. Während ihres Imaginallebens nehmen sie keine Nahrung mehr auf (VITÉ 1952, BERRY 1995).

Anobium punctatum befällt nahezu alle wirtschaftlich wichtigen Nadel- und Laubholzarten Europas. Bevorzugt werden Weich- und Splinthölzer (CYMOREK 1982). Bei den Nadelhölzern verlaufen die Fraßgänge in den Frühholzschichten (BECKER 1983), das härtere und nährstoffärmere Spätholz bleibt lamellenförmig stehen.



Gescheckter Nagekäfer *Xestobium rufovillosum* (DEGEER, 1774)

Der Gescheckte Nagekäfer kommt in ganz Europa vor (FISHER 1937). Insbesondere wird Westeuropa als Verbreitungsgebiet genannt; sowie Nordspanien, Italien und Griechenland für das südlichen Europa (RIDOUT 2001 b). Besonders häufig sind Befallsmeldungen aus England, während in Schottland, Nordirland (HICKIN 1963) und Irland (FISHER 1937) diese Art nicht vorkommen soll. Auch für die USA wird diese Spezies gemeldet (WHITE 1982), jedoch erreicht sie nicht den Schädlingsstatus wie in Europa.

Die Körperlänge der Imagines variieren von 4,5 bis 9 mm (CYMOREK 1982) bzw. 5 bis 7 mm (FISHER 1937). Es handelt sich um die größte einheimische Anobie.

Die Käfer sind bekannt für ihr Klopfgeräusch durch Aufschlagen der Stirn auf das Substrat. Es handelt sich um eine Form der Kommunikation zum Finden eines Paarungspartners (GOULSON et al. 1994, BIRCH & KEENLYSIDE 1991,



WHITE et al. 1993). Die adulten Käfer schlüpfen im Frühjahr (MAXWELL-LEFROY 1924, KIMMINS 1933, BIRCH & MENENDEZ 1991). Nach FISHER (1938) fressen die Adulten beider Geschlechter nicht mehr.

BECKER (1983) und CYMOREK (1982) nennen über 100 Eier pro Weibchen, BIRCH & MENENDEZ (1991) über 50 Eier. Die Weibchen legen ihre Eier in Risse und Spalten (FISHER 1937) auf der rauen Holzoberfläche oder an der Innenseite des Flugloches ab (HICKIN 1963). Jüngere Untersuchungen haben jedoch gezeigt, dass gepaarte Weibchen in die vorhandenen Schlupflöcher zurückkehren und ihre Eier lieber tief in das Holz als auf oder nahe der Oberfläche ablegen (BELMAIN et al. 2000, 2001, RIDOUT 2001 a), um sie so unanfälliger gegen Prädatoren und chemisch behandelte Oberflächen zu machen.

Im Auswahlverhalten für die Eiablage besteht eine eindeutige Präferenz für altes Eichenholz aus dem 13. bis 18. Jahrhundert gegenüber neuem Eichenholz aus dem 20. Jahrhundert (BELMAIN et al. 1998). Zugleich orientiert sich der Käfer an pilzbefallenem Holz (BELMAIN et al. 2002), da der Festigkeitsverlust infolge der Pilzzerstörung das Larvenwachstum fördert (CAMPBELL & BRYANT 1940).

Frühe Untersuchungen von FISHER (1940) mit Tieren aus Freilandpopulationen belegen einen Lebenszyklus des Insekts von 1 bis über 10 Jahre in Abhängigkeit der Umweltbedingungen. Jüngere Forschungen mit Tieren aus einer Zucht variierten in der Larvenentwicklung von 1 bis 13 Jahren, mit einem Mittelwert von 5 bis 8 Jahren ab der Eiablage bis zum Schlupf der Imago (BELMAIN et al. 2001).

Das Schlupfloch, welches die Tiere erzeugen ist kreisrund und 3 bis 4 mm im Durchmesser (HICKIN 1963, BECKER 1983, PINNIGER 2001).

Xestobium rufovillosum befällt verschiedene Hartholzarten mit Pilzbefall (HICKIN 1963). Im Bauwerk wird im wesentlichen Eiche (*Quercus* sp.) befallen, aber auch Ulme (*Ulmus* sp.) und Erle (*Alnus* sp.) sowie Nadelholz, wenn es in Kontakt mit Hartholz steht (FISHER 1937).

Gekämmter Nagekäfer *Ptilinus pectinicornis* (LINNAEUS, 1758)

In der Literatur ist *Ptilinus pectinicornis* ein wenig beachteter Holzzerstörer. Die Art ist in Europa weit verbreitet, fehlt aber in kalten Regionen wie Finnland und Nordschweden (CYMOREK 1970, 1982). Im synanthropen Bereich wird die Häufigkeit von *Anobium punctatum* nicht erreicht.

Es handelt sich um einen schmalen, mittel- bis schwarzbraunen Käfer mit einer Körperlänge von 3 bis ca. 5 mm (KEMNER 1915, CYMOREK 1982). Der Körper ist länger und mehr zylinderförmig als der von *Anobium punctatum* (HICKIN 1963). Die Männchen besitzen gekämmte Fühler als typisches Merkmal (HICKIN 1963) und unterscheiden sich durch diesen Geschlechtsdimorphismus deutlich von den Weibchen. Als Schlupfzeit nennt BECKER (1983) den Frühsommer, KEMNER (1915) den Zeitraum Mai bis Juni.

Die Weibchen verfügen über ein Sexualpheromon, das sie in typischer Sterzelhaltung abgeben (CYMOREK 1982). Je Weibchen sind kaum mehr als 20 Nachkommen zu erwarten (CYMOREK 1970). Nach der Eiablage verlassen die Weibchen den Brutgang nicht und verschließen mit ihrem Körper über den Tod hinaus den Brutgang wie einen Pfropfen (CYMOREK 1962, 1964).



Die Entwicklung erfolgt in vier Stadien vom Ei über die Primär- und Sekundärlarve zur Tertiärlarve, dem ersten engerlingsförmigen Larvenstadium (CYMOREK 1970, 1982). Die Fraßgänge der Larven erfolgen im Gegensatz zum Brutgang überwiegend in Faserrichtung und werden mit Fraßmehl zu einem soliden Docht fest zugestopft (CYMOREK 1974, 1982).

Es wird unterschieden zwischen einem Primär- und einem Sekundärbefall (CYMOREK 1962). Bei einem gelegentlichen gemeinsamen Vorkommen mit *Anobium punctatum* nehmen die Weibchen von *Ptilinus pectinicornis* die Puppenwiegen von *Anobium punctatum* an und legen von dort ihren Brutgang an (CYMOREK 1964). Die Größe der kreisrunden Schlupflöcher liegt bei etwa 1 bis 1,5 mm (GROSSER 1985) und HICKIN (1963) erwähnt, dass diese manchmal größer als die von *Anobium punctatum* sind.

Ptilinus pectinicornis kommt ausschließlich in Laubholz vor (CYMOREK 1970). Am verbauten Holz werden bevorzugt Rotbuche (*Fagus sylvatica* L.), auch Ahorn (*Acer* sp.), Pappel (*Salix* sp.) und Weißbuche (*Carpinus betulus* L.) befallen (CYMOREK 1962, 1983).

Buntkäfer (Coleoptera, Cleridae)

Blauer Fellkäfer *Korynetes caeruleus* (DEGEER, 1775)

Korynetes caeruleus kommt in ganz Europa mit Ausnahme des Nordens vor (GERSTMEIER 1998). Für Süddeutschland wird die Art jedoch als wesentlich seltener als *Korynetes ruficornis* eingestuft (GERSTMEIER 1987).

Die metallisch blau glänzenden Käfer sind 5,0 bis 6,5 mm lang (GERSTMEIER 1998) und fressen während ihres Imaginalstadiums die Eier von holzbewohnenden Käfern (BELMAIN et al. 2000). KEMNER (1915) erwähnt den Bau der Puppenkammer in den Gängen von *Anobium punctatum* und den Abschluss der Entwicklung zum Imago zur Flugzeit des Schädlings. BECKER (1942) vermutet, dass die Käfer in den mit weißlichen Sekret überzogenen Puppenwiegen, die zu meist von *Anobium punctatum* stammen, überwintern und die Verpuppung im Frühjahr oder Sommer, im ungeheizten Gebäude auch im Herbst, erfolgt. HICKIN (1969) nennt einen Schlupf zur gleichen Zeit mit dem Wirt.



Die Larven des Blauen Felikäfers sind weißlich (KEMNER 1915, BECKER 1954, KLAUSNITZER 1996) und bis 14 mm lang (HICKIN 1963). Sie jagen den Anobienlarven in deren Gängen nach (KEMNER 1915, BECKER 1942, VITÉ 1952). HICKIN (1963) nennt die Larven von *Xestobium rufovillosum* und *Anobium punctatum* als Beute während RIDOUT (2000) eine Präferenz für den erstgenannten Schädling sieht. Die Möglichkeit der Larven weiches Holz zu zerstören, erwähnt BECKER (1942).

Eine Bevorzugung der Tiere für kühlere Gebäudeteile anstelle von Dachböden nennt BECKER (1954). Das Vorkommen der Tiere bei Befall durch *Xestobium rufovillosum* wird von BELMAIN et al. (1999 a) für England und von NOLDT (2007) für Deutschland beschrieben.

Während HICKIN (1963) für England *Korynetes caeruleus* als wichtigsten Prädator für *Anobium punctatum* beschreibt, nennt BECKER (1954) für Deutschland an erster Stelle *Opilo domesticus* und erst an zweiter Stelle *Korynetes caeruleus* als häufigste Feinde dieser Art.

Hausbuntkäfer *Opilo domesticus* (STURM, 1837)

Die Art bewohnt ganz Mittel- und Südeuropa sowie Nordafrika (GERSTMEIER 1987, 1998) und besitzt nach WINKLER (1961) eine kosmopolitische Tendenz. Fundmeldungen liegen insbesondere für die Iberische Halbinsel zusammen mit *Opilo mollis* (BAHILLO DE LA PUEBLA & COLÓN 2000), für Polen (KOWALCZYK & WATALA 1988), für Belgien (BOOSTEN 1981), für die Niederlande (DE JONGE 1988) und für Deutschland (HORION 1953) vor. HICKIN (1963) bezweifelt sein Vorkommen in Großbritannien (HORION 1953), während LINDROTH (1960) Funde für Dänemark und das südliche Schweden meldet. ZACHARIASSEN (1992) erwähnt *Opilo domesticus* erstmalig für Norwegen in einer Fundmeldung von 1970. Für Deutschland wird ein häufiges Vorkommen im synanthropen Bereich von BECKER (1954) und STEINER (1938) benannt. NOLDT (2007) erwähnt ein gehäuftes Auftreten in Freilichtmuseen.



Der Käfer ist 6 bis 12 mm lang und besitzt auf den mit Punktreihen versehenen Flügeldecken einen Apikalfleck (GERSTMEIER 1998).

Die Adulti schlüpfen im Frühjahr zur gleichen Zeit wie ihre Wirtsspezies (KEMNER 1915). Als wichtigstes Beutetier wird

Anobium punctatum genannt, welches in allen Entwicklungsstadien gefressen wird (KEMNER 1915, STEINER 1938, BECKER 1942 a, 1950). KEMNER (1915) beobachtete wie innerhalb einer halben Stunde 5 adulte *Anobium punctatum* vertilgt wurden. Eine Eiablage erst nach Nahrungsaufnahme nennt POSPISCHIL (2000). STEINER (1938) vermutete die Notwendigkeit eines Reifungsraßes zur Erlangung der Fortpflanzungsfähigkeit, nach dem von frisch geschlüpfen und zusammengesetzten Käfern jeweils nur einer überlebte. Die Lebensdauer der flugfähigen und nachtaktiven Imagines (BECKER 1942 a) wird mit ca. 10 Wochen angegeben (STEINER 1938).

Eine polyphage Veranlagung im Zusammenhang mit Zuchtversuchen unter Verwendung verschiedener Futtertierarten (Hausbocklarven, Mehlmottenlarven, Mehlkäferlarven und Schweineläusen) hat STEINER (1938) nachgewiesen. Im Ergebnis seiner Voruntersuchungen stellt STEINER fest, dass Versuche mit leicht züchtbaren Vorratsschädlingen erfolgreich sein können.

Die Eianzahl benennt BECKER (1942 a) mit 20 bis 30 Stück, die als schmal-länglich weiße Eier einzeln oder in kleinen Gruppen abgelegt werden. BECKER (1942 a) beschreibt die Eilarven als äußerst beweglich und wanderlustig. Eine Häutung der Larven einige Tage nach der Fütterung erwähnt STEINER (1938).

Die Larven sind dorsal dicht mit blauviolett Flecken bedeckt und besitzen in jedem Segment vier rote Punkte in einer Querreihe (KLAUSNITZER 1996). BECKER (1942 a) und PUPPIN (1973) erwähnen Kannibalismus bei Larven und Imagines. STEINER (1938) beobachtete den Angriff auf *Opilo*-Puppen durch Larven der Spezies.

Die Larven entwickeln sich in den Sommermonaten und legen im vergrößerten Anobiengang eine Puppenwiege, die mit weißem Sekret überzogen ist, an (KEMNER 1915). Das temperaturabhängige Puppenstadium (STEINER 1938) dauert zwei bis drei Wochen (POSPISCHIL 2000), wobei vor Beginn der Puppenruhe die Larven die Nahrungsaufnahme einstellen (STEINER 1938). Die Fähigkeit der Larven, Holz zu durchnagen, wurde von STEINER (1938) festgestellt. BECKER (1942 a) weist auf eine große Hungerfähigkeit hin und erwähnt, dass das Temperaturoptimum der *Opilo*-Larven höher zu liegen scheint, als bei *Anobium punctatum*.

Weicher Buntkäfer *Opilo mollis* (LINNAEUS, 1758)

Die Art kommt in der ganzen paläarktischen Region mit Ausnahme von Nord-Skandinavien, Nordengland, Irland und Nordwest-Frankreich vor (GERSTMEIER 1987). Für Großbritannien bezeichnet ihn HICKIN (1963) als sehr selten.



BECKER (1950, 1954) beschreibt sein Vorkommen eher an im Freien ver-

bauten Hölzern und erwähnt Hausbock- und andere Käferlarven als Beute. GERSTMEIER (1987) erwähnt ein Vorkommen in Häusern und Holzschuppen und eine ähnliche Lebensweise wie *Opilo domesticus*. KEMNER (1915) beschreibt ein Vorkommen ausschließlich im Wald und nennt möglicherweise Borkenkäfer als Beute. Für Italien nennt AUDISIO (1976) insbesondere Borkenkäfer (Scolytidae) und Bohrkäfer (Bostrychidae) als Beute. Auf *Anobium punctatum* als Beutetier und die Notwendigkeit eines Reifungsfraßes weist HICKIN (1963) hin.

Der Käfer ist 8 bis 13 mm lang und unterscheidet sich von *Opilo domesticus* durch das Verlöschen der Punktierung ab der Mitte der Flügeldecken (GERSTMEIER 1998).

Die gelbweißen Larven sind bis zu 15 mm lang (POSPISCHIL 2000) und durch vier ausgedehnte rote Flecken, die auch verwischt sein können, auf jedem Segment gekennzeichnet (KLAUSNITZER 1996).

Schwarzflügeliger Holzbuntkäfer *Tillus elongatus* (LINNAEUS, 1758)



Die Art kommt in nahezu ganz Europa einschließlich der Britischen Inseln und dem Kaukasus vor (GERSTMEIER 1998).

Ein Vorkommen im Freiland als Feind von *Ptilinus pectinicornis* erwähnt CYMOREK (1974). GERSTMEIER (1998) benennt Wälder mit altem Laubholzbestand, wo Larven und Imagines sich besonders von *Ptilinus*-Larven ernähren und KEMNER (1915) nennt insbesondere *Ptilinus pectinicornis* als Beute. BECKER (1942 a) vermutet die Art als gelegentlicher Feind von *Anobium punctatum*.

Die Käfer sind 6 bis 10 mm lang und unterscheiden sich im Geschlecht durch die Färbung des Halsschildes, beim Männchen schwarz, beim Weibchen hellrot (GERSTMEIER 1998).

Die Larve ist 10 bis 15 mm lang (KEMNER 1915). Sie besitzt zwei seitliche rotbraune Längsstreife auf jedem Abdominalsegment (KLAUSNITZER 1996).

1.2.3 Begasung mit Sulfuryldifluorid

Ziel des integrierten Ansatzes im Bauwerk ist die Bekämpfung von Holzschädlingen nach umweltgerechten Gesichtspunkten (PINNIGER 2001, NOLDT 2007). Die Tilgung eines Befalls soll bei Anwendung chemischer Bekämpfungsmittel auf das notwendige Maß begrenzt bleiben und möglichst natürlichen Feinden der Schädlinge ein Überleben ermöglichen.

Zur Abtötung eines Schädlingsbefalls in Gebäuden oder Kunstgegenständen werden heute Begasungsverfahren bevorzugt (REICHMUTH 2007). Unterschieden wird in toxische und erstickende Gase. Zu den toxischen Gasen gehören Blausäure, Phosphorwasserstoff und Sulfuryldifluorid. Ein Vorteil von Sulfuryldifluorid (SF) gegenüber den beiden anderen toxischen Begasungsmitteln besteht darin, dass Materialveränderungen durch Nebenreaktionen beim dem über ein Filtersystem gereinigten säurefreien SF bisher nicht beobachtet wurden (BINKER et al. 2008).

Das für die Begasungsversuche eingesetzte SF wurde in den späten 1950er Jahren in den USA insbesondere zur Termitenbekämpfung entwickelt (STEWART 1957, SCHNEIDER 1993). Sulfuryldifluorid ist seit 1961 als Begasungsmittel unter dem Handelsnamen „Vikane“ registriert und wird unter dem Namen „ProFume“ als Begasungsmittel für den Vorratsschutz geführt. Es wird in der Container- und Mühlenentwesung sowie in Getreide- und Trockenfrüchtelagern genutzt. Eine Kirchenbegasung auf Holzschädlinge mit SF erfolgte erstmalig 1992 in Europa (BINKER 1993).

Eine zusammenfassende Darstellung der Eigenschaften von Sulfuryldifluorid enthält die Anlage (Tabelle 54). Ebenso wurde für ausgewählte Schädlinge deren Empfindlichkeit gegenüber SF aus der Literatur entnommen (Tabelle 55 in der Anlage).

Die toxische Wirkung eines Gases ist abhängig von dessen Konzentration c im vorliegenden Gas-Luft-Gemisch und der Dauer t der Einwirkung dieser Konzentration auf die dem Wirkstoff ausgesetzten Organismen. Nach HABER (1924) ist die letale Dosis LD das Produkt aus einer Zeit- und Konzentrationskomponente (ct -Produkt):

LD = $c \cdot t$ [Konzentration · Zeit]
 LD = Dosis Letalis (tödliche Dosis)
 c = Wirkstoffkonzentration
 t = Einwirkzeit.

Dieser als HABERSche Regel bezeichnete Zusammenhang besagt, dass das erforderliche ct -Produkt, welches eine festgelegte Mortalitätsrate hervorruft, konstant ist, wie auch immer die beiden Einzelfaktoren c und t geändert werden. Damit können bei einem bekannten ct -Produkt Gaskonzentration und Einwirkzeit innerhalb der vorgegebenen Grenzen nach Bedarf variiert werden, um entweder eine Behandlung zeitlich zu beschleunigen oder bei niedriger Konzentration eine lange Einwirkzeit zu wählen, um den Mitteleinsatz zu minimieren. Im Interesse einer geringen Umweltbelastung und einer minimalen Gefährdung für den Ausführenden der Begasung, geht die Tendenz in die Richtung einer Begasung mit möglichst geringen Gaskonzentrationen. Dazu sind exakte Daten zur unteren letalen Konzentrationsgrenze des verwendeten Gases hinsichtlich der Zielorganismen erforderlich.

Nach PETERS (1942) wird dieses mathematische Produkt als Grammstundeneinheit bezeichnet, dass durch den in der englischsprachigen Literatur verwendeten Begriff „ ct -Product“ [in $gh/m^3 = mgh/l$] seit langer Zeit als Maß zur Bestimmung der notwendigen Konzentration

bzw. Einwirkzeit für eine Begasung benutzt wird. Bei Phosphorwasserstoff als wirksame Substanz gilt das ct-Produkt in dieser Form nicht. Die Einwirkzeit muss bei diesem Gas überproportional verlängert werden, um dieselbe letale Wirkung zu erreichen (ENGELBRECHT & REICHMUTH 2005).

Das ct-Produkt ist ein geeignetes Maß zum Vergleich der Toxizität verschiedener Begasungsmittel. Es gilt für SF und einige andere toxische Gase (MACDONALD & REICHMUTH 1996).

Zum 01. Januar 2009 wurde Sulfuryldifluorid als Wirkstoff der Produktart Holzschutzmittel in die Biozidrichtlinie aufgenommen (RICHTLINIE 2006/140/EG). Das bisher häufig in der Praxis eingesetzte Begasungsmittel Methylbromid [CH₃Br] ist in Europa seit dem 30. Dezember 2004 wegen ozonschädigender Wirkung verboten (VERORDNUNG EG Nr. 2037/2000). Während für viele Arten von Vorratsschädlingen umfangreiche Untersuchungen zur Toxizität von SF vorliegen (DRINKALL et al. 1996, REICHMUTH et al. 2003), sind mit Ausnahme der Termiten (OSBRINK et al. 1987) für Holzschädlinge kaum Daten verfügbar. Diese beschränken sich auf *Lyctus*-Arten und die beiden nordamerikanischen Anobien *Euvrilletta peltata* und *Hemicoleus gibbicollis* (WILLIAMS & SPRENKEL 1990, THOMS & SCHEFFRAHN 1994).

Für den Gewöhnlichen Nagekäfer (*A. punctatum*) gibt es keine veröffentlichten letalen Dosen zu deren Empfindlichkeit gegenüber SF. Als praxisrelevante Gaskonzentrationen gelten für Holzschädlinge unabhängig von der Art 10 g/m³ bis 35 g/m³ bei 24 bis 96 Stunden Einwirkzeit (DGfH-MERKBLATT 2002). Die Wirkung des Gases auf Buntkäfer ist bisher unbekannt.

1.2.4 Apparative Schadensdiagnose

Für die Prüfung von Holz auf Schäden und Strukturfehler gibt es nur relativ wenige zerstörungsfreie oder zerstörungsarme Verfahren. Davon sind die meisten apparativ sehr aufwendig und für eine Vorortuntersuchung nicht geeignet. Die Bohrwiderstands- und die Ultraschallechomessung sind portable Prüfmethode und eignen sich daher für die Untersuchung im Bauwerk. Deren instrumenteller Aufwand ist im Vergleich zum Röntgenverfahren gering. Während die Bohrwiderstandsmethode ein im Holzbau etabliertes Verfahren ist, befindet sich das Ultraschallechoverfahren für den Baustoff Holz in der Erprobungsphase.

Mit der Bohrwiderstandsmessung lassen sich Bereiche im Holz mit geringerer Festigkeit lokalisieren. Damit können Schäden im Holzinernen und handwerkliche Holzverbindungen, zum Beispiel Verzapfungen, erkannt werden (HÄTTICH 1989, VON LAAR 2006). Die Bohrwiderstandsmethode wird zur Prüfung von Konstruktionshölzern (GÖRLACHER & HÄTTICH 1992, EHLBECK & GÖRLACHER 1989, RINN 1991, 1993), Masten (RINN 1994 a) und lebenden Bäumen (BRANDT & RINN 1989, RINN 1990, 1994 b) eingesetzt. Ihre Eignung an maritimen archaischen Hölzern zur Detektion von Schäden der Schiffsbohrmuschel (*Teredo navalis*) hat VON LAAR (2003) nachgewiesen. Im Bauwesen wird die Bohrwiderstandsmethode insbesondere zur Feststellung verdeckter Pilzschäden im Holz eingesetzt. Ihre Eignung zur Detektion von Insektenschäden wurde bisher nur wenig untersucht. So haben GÖRLACHER & HÄTTICH (1992) sich

auf zwei Schädlingsarten beschränkt, den Hausbockkäfer (*H. bajulus*) und den Gewöhnlichen Nagekäfer (*A. punctatum*). Sie konnten nachweisen, dass Fraßschäden durch die Bockkäferart detektierbar sind, aber für die Nagekäferart eine Darstellung erst bei fortgeschrittenem Befall möglich ist. Untersuchungen zu weiteren Insektenpezies sind nicht erfolgt.

Das in der Betontechnologie eingesetzte Ultraschallechoverfahren (KRAUSE 2004) untersuchte HASENSTAB (2005) auf seine Anwendbarkeit an Holz. Seine Untersuchungen zeigten, dass Transversalwellen (Scherwellen) mit einer Mittenfrequenz von 55 kHz für die Strukturanalyse von größeren Holzbauteilen am geeignetesten sind.

Bei dem zerstörungsfreien Verfahren werden Schäden im Holzbauteil durch die Abschattung der Rückwandecho erkennbar. Damit erfolgt die Ortung von Schäden indirekt, durch das fehlende Rückwandecho (HASENSTAB 2005). Der Vorteil des Verfahrens besteht darin, dass nur eine Prüffläche am Bauteil notwendig ist und auf Koppelmittel verzichtet werden kann. Damit können beispielsweise nicht sichtbare Unterseiten von Holzbauteilen geprüft werden. Nachteilig ist, dass Hölzer mit unregelmäßig geformten Holzoberflächen (plastisches Schmuckwerk, Schnitzerei) nicht untersucht werden können, da für die Ankoppelung eines Prüfkopffarrays eine ebene Auflagerfläche erforderlich ist. Über die Eignung des Verfahrens zur Diagnose von Insektenschäden liegen bisher keine Daten vor.

Für die Untersuchung von Kunstobjekten außerhalb des Bauwerkes gilt das Röntgenverfahren als Standardmethode (UNGER et al. 2001). Ebenso wird es in der Holzschutzmittelprüfung (NORM DIN EN 49-1) und zur Bestimmung der Larvenaktivität im Labor verwendet (BLETCHLY & BALDWIN 1962). Eine günstige Alternative zur Röntgen-Computertomografie stellt neuerdings der Einsatz tragbarer Röntgengeräte zusammen mit digitalen Detektoren dar (OSTERLOH et al. 2003, 2005). Der generelle Nachteil der Röntgenverfahren liegt jedoch in der Strahlenbelastung.

1.3 Wissenschaftliche Zielsetzung und Forschungsansatz

Im Mittelpunkt der Arbeit stehen Nage- und Buntkäferarten in der Holzsubstanz des Bauwerkes. Wie bereits im Kapitel 1.2 dargelegt, sind nach GERSTMEIER (1987) mit Ausnahme des im Forst vorkommenden Ameisenbuntkäfers, die Kenntnisse über die Biologie der einheimischen Buntkäfer sehr ergänzungsbedürftig. Die Sichtung von weltweiten Publikationen zeigt, dass zu den synanthropen Cleriden vorwiegend zur Faunistik und zur Morphologie (MAMAEV 1977, KOLIBÁČ 1989, 1992, KLAUSNITZER 1996, GERSTMEIER 1998) gearbeitet wurde. Nach STEIDLE et al. (2007) stehen insbesondere Buntkäfer und parasitoide Wespen im Interesse der Entwicklung von biologischen Bekämpfungsverfahren gegen Holzschädlinge. Deshalb wurden Studien zur Erhebung und zum Monitoring von synanthropen Buntkäferarten im Bauwerk geplant.

Bei der Konzeption des Monitorings konnte auf die im Westfälischen Freilichtmuseum Detmold erarbeiteten Grundlagen zurückgegriffen werden. Aufbauend auf Forschungsergebnissen zu Holzschädlingen in Großbritannien, Dänemark und Deutschland waren Papierabklebungen und Klebefallen als Methoden des Monitorings für die Erfassung von Räuber-Beute-Verhältnissen zu untersuchen. Die Untersuchung muss auch die Artbestimmung von Nagekäferarten und deren natürlicher Feinde mit Hilfe der Papierabklebung umfassen. Ebenso war die Effizienz der Klebefallenmethode unter Beachtung der Beifangproblematik zu untersuchen. Die Erfassung von Klimadaten war erforderlich, um insbesondere Temperatureinflüsse auf das Monitoring der Zielarten zu prüfen.

Zur Fragestellung der biologischen Bekämpfung im Holzschutz erfolgten letzte Arbeiten vor über 50 Jahren. Im Vorratsschutz erlebt die Erforschung der biologischen Bekämpfung mit Nützlingen seit ungefähr 1990 eine Renaissance (SCHÖLLER 1998). Vermehrungspotential und Zuchtmöglichkeit sind einige der Auswahlkriterien für Antagonisten zur biologischen Schädlingsbekämpfung. Für die weitere Untersuchung biologischer Bekämpfungsmethoden im Holzschutz wurden Zuchtversuche an vier synanthropen Buntkäferarten im Labor durchgeführt, um deren Lebensweise zu studieren.

Für die Fütterung der karnivoren Buntkäfer wurde erstmalig der Tabakkäfer *Lasioderma serricorne* (FABRICIUS, 1792) ausgewählt. Er gehört zur Familie der Nagekäfer (Anobiidae) und ist ein Vorratsschädling der Tabakwaren und Nahrungsgüter befällt. Er wurde ausgewählt, weil er sich im Vergleich zum Holzschädling gut vermehren lässt und daher in ausreichender Menge zur Verfügung steht. Mit dem Zuchtansatz sollte geprüft werden, ob sich der Tabakkäfer als Futtertier für Buntkäfer eignet, da der Vorratsschädling nicht zum natürlichen Beutespektrum holzbewohnender Cleriden gehört. Seine Eignung als Futtertier ist für die Beurteilung der Vermehrungsfähigkeit von Buntkäfern für eine biologische Schädlingsbekämpfung von Interesse. Das Studium synanthroper Buntkäfer als natürliche Feinde der Holzinsekten ist von grundlegender Bedeutung, um die Entwicklung umweltfreundlicher Bekämpfungsstrategien im Holzschutz voran zu treiben.

Ein Ziel der integrierten Schädlingsbekämpfung ist die Schonung natürlicher Feinde bei Schädlingsbekämpfungen mit Gasen. Da bisher keine Begasungsversuche mit Buntkäfern durchgeführt wurden, sollte geprüft werden, ob Buntkäfer bei Schädlingsbekämpfungsmaßnahmen mit dem toxischen Begasungsmittel Sulfuryldifluorid Überlebenschancen im Holz besitzen. Geplant wurde, Larven des Blauen Fellkäfers (*K. caeruleus*), als Vertreter der Buntkäfer und die des Gewöhnlichen Nagekäfers (*A. punctatum*) als Holzschädling zu verwenden, um deren Empfindlichkeit gegenüber dem Begasungsmittel zu ermitteln. Die beiden Arten wurden ausgewählt, da es sich um eine häufige Räuber-Beute-Beziehung handelt. Mit dem Vergleich der Sulfuryldifluorid-Empfindlichkeit der beiden Coleopterenarten sollte die Vereinbarkeit des Einsatzes der natürlichen Prädation und der chemischen Bekämpfung mit Gas untersucht werden. Die Untersuchungen sollten Informationen über die Wechselwirkungen des Begasungsmittels auf das Beziehungsgefüge zwischen Nagekäfer und natürlich vorkommendem Buntkäfer liefern.

Wie für die meisten Baustoffe, ist auch für verbautes Holz eine Substanzprüfung im Rahmen der Instandhaltung notwendig. Der Schwerpunkt in der Holzprüfung ist auf Pilze und anatomische Holzfehler ausgerichtet. Die Methoden des Monitorings ermöglichen Aussagen zur Beurteilung einer Gefährdung durch Holz zerstörende Insekten. Schäden, die diese Tiere während ihrer Entwicklung im Holzinneren hervorrufen, können sie aber nur ansatzweise erfassen. Insbesondere für museale Gegenstände, Kunstgut und Holzbildwerke stellt sich fast immer die Frage nach Festigungs- und Ergänzungsarbeiten. Im konstruktiven Bereich besitzt die Beurteilung der Standsicherheit von Dachtragwerken, Holzbalkendecken und Fachwerkkonstruktionen stets eine zentrale Bedeutung. Während im profanen Baualltag zerstörende Untersuchungsmethoden bevorzugt werden, sind diese im denkmalpflegerischen und restauratorischen Bereich unakzeptabel.

Ziel der Untersuchungen ist die Beurteilung der Eignung der zerstörungsarmen Bohrwiderstandsmethode und des zerstörungsfreien Ultraschallechoverfahrens für eine sichere Detektion von Insektenschäden im Holzinneren, da nicht bekannt ist, ob die Verfahren bei Holzinsekten funktionieren. Im Rahmen dieser Arbeit sollen Fraßschäden Holz zerstörender Anobien artspezifisch untersucht werden. Dazu wurden Hölzer mit natürlich eingetretenem Befall verwendet.

Entsprechend dem Stand des Wissens bestehen Fragen zum Auftreten von Nagekäfer und Buntkäfer in der Holzsubstanz des Bauwerks, die im Rahmen dieser Arbeit beantwortet werden sollen. Anhand verschiedener Methoden wurde die Befallsfeststellung und Befallsüberwachung von Schädling und Nützling untersucht. Für synanthrope Buntkäfer war es notwendig, deren Potential in der biologischen Bekämpfung ansatzweise zu betrachten.

Zur Erreichung dieser Ziele musste in folgenden Arbeitsschritten vorgegangen werden:

- Erhebung faunistischer Daten zum Schädlingbefall und dem Auftreten von natürlichen Feinden in Bauwerken. Dazu wurden historische Gebäude, mit dem Schwerpunkt auf Kirchen innerhalb Mecklenburgs ausgewählt, da viele Gebäude im Bestand bedroht sind.
- Untersuchungen zur Eignung von Papierabklebungen und Klebefallen für ein Monitoring der Holzschädlinge und deren natürlicher Feinde.
- Anzuchtversuche mit Buntkäfern für die biologische Bekämpfung von Holzschädlingen unter Verwendung gut züchtbarer Futtertiere.
- Begasung von Nagekäfer- und Buntkäferlarven mit Sulfuryldifluorid mit dem Ziel der Erforschung einer selektiven Abtötung der Schädlinge unter Bewahrung der Nützlinge im Rahmen einer Empfindlichkeitsstudie.
- Untersuchungen zur Erfassung von Fraßschäden der Insekten im Holzinneren mit zerstörungsfreien und zerstörungsarmen Methoden, wie Ultraschallecho- bzw. Bohrwiderstandsmessung.

2 Labor- und Felduntersuchungen

2.1 Untersuchungsgebiet und Bauwerke

Für die populationsökologischen Felduntersuchungen wurden historische Bauwerke (n=29) im Bundesland Mecklenburg-Vorpommern ausgewählt (Tabelle 35 im Anhang). Es handelt sich um Gebäude, in denen die Eigentümer einen aktiven Befall durch Holzschädlinge vermuteten. Die Bauwerke befinden sich in einem Untersuchungsgebiet, welches eine Fläche von rd. 7.300 km² innerhalb Mecklenburgs umfasst. Die nachfolgende Abbildung 1 zeigt das Untersuchungsgebiet mit den als Punkten markierten Standorten. Dabei sind territorial einander nahe gelegene Gebäude in einem Standort zusammengefasst. Die Markierung erfolgte auf der Grundlage der GPS-Koordinaten (Global Positioning System) der Gebäude.

Die Bauwerke befinden sich in Ost- und Westmecklenburg, an der Ostseeküste und im Bereich der Seenplatte. Den Schwerpunkt bildeten Kirchen mit 17 Bauwerken. Weitere Gebäude waren Museumshäuser in Freilichtmuseen (n=7), gewerblich genutzte Bauwerke (n=4) und ein privates Wohnhaus (n=1). Betriebsbedingt musste in zwei Museumshäusern das Insektenmonitoring vorzeitig beendet werden (Bauwerk Nr. 26 und 27). Für die zweijährigen Felduntersuchungen standen somit 27 Gebäude zur Verfügung. Die vorherrschenden Bauweisen der untersuchten Objekte waren der Back- und Feldsteinbau, der Putzbau sowie die Fachwerk- und Blockbauweise. Das Gebäudealter reichte vom frühen Spätmittelalter (um 1220) bis in die Neuzeit als Rekonstruktion des Originalbestandes (1996).

Die untersuchten Bauwerke kamen als Lebensraum für die in dieser Arbeit näher untersuchten Holzschädlinge und ihrer Feinde in Frage. Ein Museumshaus diente ausschließlich der Entnahme abgelagerter Hölzer für Laboruntersuchungen und war nicht Bestandteil der Felduntersuchungen (Bauwerk Nr. 30).



Abbildung 1: Untersuchungsgebiet mit markierten Standorten im Bundesland Mecklenburg-Vorpommern (Topografische Karte aus Top 50 Version 4, Landesvermessungsamt Mecklenburg-Vorpommern)

2.2 Monitoring der Schädlinge, natürlicher Feinde und der Klimadaten

Die Untersuchungen dieser Arbeit sind auf drei einheimische Nagekäferarten und vier synanthrope Buntkäferarten als deren natürliche Feinde ausgerichtet:

Nagekäferarten:

- Gewöhnlicher Nagekäfer *Anobium punctatum* (DEGEER, 1774)
- Gescheckter Nagekäfer *Xestobium rufovillosum* (DEGEER, 1774)
- Gekämmter Nagekäfer *Ptilinus pectinicornis* (LINNAEUS, 1758)

Buntkäferarten:

- Blauer Fellkäfer *Korynetes caeruleus* (DEGEER, 1775)
- Hausbuntkäfer *Opilo domesticus* (STURM, 1837)
- Weicher Buntkäfer *Opilo mollis* (LINNAEUS, 1758)
- Schwarzflügeliger Holzbuntkäfer *Tillus elongatus* (LINNAEUS, 1758)

Die Erfassung der Zielorganismen erfolgte mit den nachfolgend beschriebenen Methoden. Parasitoide Wespen, als weitere natürliche Gegenspieler, wurden ergänzend erfasst. Die Feldversuche erfolgten als zweijähriges Monitoring von 2005 bis 2006. Aufsammlungen wurden bis 2008 durchgeführt.

Papierabklebungen

Die Papierabklebungen wurden im Jahr 2005 in 26 Gebäuden und im Jahr 2006 in 25 Gebäuden eingesetzt. Verwendet wurde Packpapier aus dem Restauratorenbedarf mit einem Gewicht von 85 g/m². Als Klebemittel wurde wasserlöslicher Tyloseleim MH 300 eingesetzt.

In Anpassung an die Schlupfdynamik wurden im zwei- bis vierwöchigem Rhythmus die Ausschluflöcher im Papier örtlich erfasst. Unter Verwendung verschiedener Symbole erfolgte am Papier zu jedem Ablesetermin eine Markierung der neu entstandenen Ausschluflöcher. Im Jahr 2005 wurden in den benannten Bauwerken 257 Papierabklebungen mit einer Fläche von A ~ 41,0 m² an befallsverdächtigen Hölzern angebracht. Die Anbringung der Papiere erfolgte in Gebäuden mit vermuteten Befall durch den Gescheckten Nagekäfer am 08. März 2005 und in Gebäuden mit einem vermuteten Befall durch den Gewöhnlichen Nagekäfer im Zeitraum vom 02. bis 14. April 2005. Mit den Ablesungen wurde am 14. April 2005 begonnen. Im Oktober 2005 wurden die Papierabklebungen für die Labor-Nachauswertung der Saison 2005 zumeist durch Befeuchtung des Papiers vom Holzbauteil entfernt. Zugleich wurden neue Papiere zur Vorbereitung der Saison 2006 angebracht. Papiere, die bisher keine Ausschluflöcher oder nur eine geringe Schlupflochanzahl aufwiesen, wurden nicht abgelöst und verblieben für die nachfolgende Monitoringperiode 2006 am Bauteil. Einzelne Ausschluflöcher auf den verbliebenen Papieren wurden mittels selbstklebender Papierpunkte verschlossen. Die zweite Untersuchungsperiode umfasste einen Zeitraum ab März bis August 2006. Dazu wurden neue Papierabklebungen vom 17. bis 20.10.2005 an den Holzflächen der ersten Saison angebracht.

Zusätzlich erfolgte eine Erhöhung der Abklebungsanzahl auf 302 Papierabklebungen mit einer Fläche von $A \sim 47,5 \text{ m}^2$. Dafür wurden weitere befallsverdächtige Holzoberflächen in den Häusern abgeklebt. Die erste Ablesung in der zweiten Saison erfolgte am 31. März 2006. Zum Ende der Untersuchungsperiode 2006 wurden die angebrachten Papiere am 10. August 2006 für die Labornachauswertung, mit Ausnahme eines Kontrollgebäudes (Nr. 24), entfernt.

Entsprechend der in den Gebäuden als Baumaterial dominierenden Holzarten, erfolgte eine Unterscheidung in Kiefer (*Pinus* sp.), Eiche (*Quercus* sp.) und andere Holzarten. Die Holzartenbestimmung wurde im Wesentlichen nach makroskopischen, für unsichere Hölzer nach mikroskopischen Merkmalen durchgeführt. In beiden Untersuchungsjahren erfolgten Papierabklebungen auf das in den Bauwerken dominierende Kiefernholz. In 2005 erfolgten die Papierabklebungen zu 83 % und im Folgejahr zu 81 % auf dieser Nadelholzart. Auf Eichenholz wurde mit 16 % (2005) bzw. 18 % (2006) abgeklebt. Der Anteil der Abklebungen auf anderen Holzarten lag für beide Untersuchungsjahre bei 1 %. Es handelt sich um die Holzarten Fichte (*Picea abies*) und Esche (*Fraxinus* sp.).

Für die Charakterisierung von Ausschluflöchern im Papier wurden im Schlupf befindliche Tiere von der Papierabklebung abgefangen. Die Tiere sind im Bauwerk geschlüpft bzw. aus entnommenen Bauwerksproben gezüchtet worden (ex larva). Es handelt sich um Imagines der Zielarten mit Ausnahme des Hausbunkäfers. Zusätzlich wurden das Larvenstadium der Bunkäfer und parasitoide Wespen betrachtet. Die Artbestimmung der abgefangenen Individuen wurde mit Hilfe eines Binokular vorgenommen. Für die Anobiidae erfolgte die Bestimmung nach LOHSE (1969) und WEIDNER & SELLENSCHLO (2003), für die adulten Cleriden nach GERSTMAYER (1998) und für das larvale Stadium nach KLAUSNITZER (1996). Parasitoide Wespen wurden durch externe Spezialisten bestimmt: *Spathius exarator* (LINNAEUS, 1758) durch M. SCHÖLLER, Berlin und *Hecabolus sulcatus* CURTIS, 1834 durch M. RIEDEL, Bad Fallingb. Das durch die Zielorganismen im Papier erzeugte charakteristische Ausschlufloch der Imagines bzw. Fraßloch der Larven wurde für strukturelle Auswertungen im Rasterelektronenmikroskop (REM) verwendet. Die rasterelektronischen Aufnahmen wurden am Institut für Oberflächen- und Dünnschichttechnik der Hochschule Wismar gefertigt.

Klebefallen

Vergleichend zur Papierabklebung wurden Klebefallen eingesetzt. Es handelte sich um handelsübliche, industriell einseitig mit Insektenleim beschichtete Platten auf Karton- bzw. Kunststoffbasis. Verwendet wurden einfarbig weiße und mehrfarbige Klebefallen. Ihre Anwendung erfolgte ohne zusätzlichen Einsatz eines Pheromons oder anderer Lockstoffe.

Verwendet wurden in 2005 mehrfarbige Klebefallen, die horizontal, zumeist auf dem Fußboden und waagerechten Bauteilen, platziert wurden. Es handelt sich um mehrfarbige Klebefallen mit dreidimensionalem Muster und lichtreflektierenden Rottönen auf weißem Untergrund, die als Fliegenfalle angeboten werden. Sie wurden von der Firma Silva GmbH & Co. KG, (Lübeck, D) in der Größe $L \times B = 58 \text{ cm} \times 30 \text{ cm}$ bezogen und an die im Bauwerk vorhandene Situation durch Zuschnitt angepasst. Im Zeitraum 2005 wurden 87 Klebefallen in den Bau-

werken ausgelegt. Umgerechnet auf die aktive Klebefläche sind dies $A \sim 10,0 \text{ m}^2$. Bedingt durch eingetretene Verluste und unerwünschte Beifänge kamen 81 Klebefallen mit einer Fläche von $A \sim 9,3 \text{ m}^2$ zur Auswertung. Die Fallen waren an befallsverdächtigen Stellen ausgelegt und in variabler Größe entsprechend der Geometrie des zu untersuchenden Holzbauteils eingesetzt. Die maximale Klebefallengröße betrug $58 \text{ cm} \times 26 \text{ cm}$, die minimale $8,5 \text{ cm} \times 6 \text{ cm}$. Die Fallen wurden ab dem 14. April 2005 in den Bauwerken platziert und durch neue Fallen nach Bedarf im Liegezeitraum bis Oktober 2005 bis zu zweimal ersetzt (zum Beispiel nachdem die Fallen mit Individuen zugesetzt waren). Am 27. Oktober 2005 waren alle Klebefallen aus den Bauwerken entfernt.

Im Untersuchungsjahr 2006 erfolgte der Klebefalleneinsatz ausschließlich in geschützter Form. Damit sollten einerseits unerwünschte Beifänge insbesondere an Wirbeltieren vermieden werden und andererseits die Effektivität der Fallen zugunsten der Zielorganismen erhöht werden. Die an Bauteilen befestigten Fallen wurden mit Folie umhüllt beziehungsweise frei im Raum angeordnete Klebefallen mit 1 mm dickem Maschendrahtgewebe (Sechseckgeflecht, Maschenweite: 15 mm, Farbe grün) abgedeckt. Um fliegende Tiere zu erfassen, wurden auch vertikal im Raum aufgehängte Klebeflächen eingesetzt.

Im Zeitraum 2006 wurden 170 Klebefallen mit einer Gesamtfläche von $A \sim 8,6 \text{ m}^2$ eingesetzt. Diese wurden im Bauwerk horizontal ($A \sim 6,4 \text{ m}^2$) ausgelegt und vertikal hängend ($A \sim 2,2 \text{ m}^2$) angeordnet. Als Falle wurden mehrfarbige Klebepappen, wie in 2005 und zusätzlich einfarbig weiße Klebepappen verwendet. Die weißen Klebeflächen wurden von der Firma E.H.P. Dr. Elkmann (Mönchengladbach, D) in einer Größe $L \times B = 40 \text{ cm} \times 30 \text{ cm}$ als Kunststoffplatte bezogen. Die Anordnung der Fallen erfolgte in variabler Größe und verschiedener Farbigkeit. Die mehrfarbigen ($A \sim 4,1 \text{ m}^2$) und weißen ($A \sim 2,4 \text{ m}^2$) Klebeflächen wurden als Klebekarte horizontal mit der Klebefläche nach oben ausgelegt. Als vertikale Variante wurden beidseitig klebende Streifen von ca. 6 cm Breite und 25 cm Länge im Bauwerk aufgehängt. Sie wurden mit mehrfarbiger ($A \sim 1,6 \text{ m}^2$) und weißer ($A \sim 0,6 \text{ m}^2$) Klebefläche verwendet. Ihre Anordnung erfolgte nebeneinander. Die Klebefallen wurden in Gebäuden mit Befall durch den Gescheckten Nagekäfer ab 31. März 2006 bzw. in Gebäuden mit Befall durch den Gewöhnlichen Nagekäfer ab 20. April 2006 eingesetzt. Entfernt wurden die Fallen am 01. August 2006 bzw. am 10. August 2006.

Die Klebefallen wurden im zwei- bis vierwöchigem Kontrollrhythmus zusammen mit den Papierabklebungen kontrolliert und die gefangenen Anobiidae und Cleridae vor Ort registriert. Die Auswertung des Gesamtfanges erfolgte im Labor nach Entnahme der Fallen aus den Untersuchungsbauwerken. Die Zielorganismen wurden bis zur Art bestimmt, die anderen Insekten auf Ordnungsniveau. Sonstige gefangene Wirbellose, die im Wesentlichen Spinnentiere (Arachnida) umfassten, wurden dem Stamm der Gliederfüßer (Arthropoda) zugeordnet. Gefangene Individuen unter 2 mm Körpergröße blieben generell unberücksichtigt.

Aufsammlungen

Von 2005 bis 2008 erfolgte zur Artenerfassung in ausgewählten Untersuchungsgebäuden eine örtliche, stichprobenartige Aufsammlung adulter Cleriden und deren Larvenstadium. Die Tiere wurden vom Fußboden und von Einbauteilen bis 1,50 m Höhe entnommen. Es wurden nur lebende Exemplare erfasst. Diese wurden mit einer Federstahlpinzette aufgenommen und einzeln in schwarze Filmdosen gesetzt. Die Handaufsammlungen erfolgten im Zeitraum April bis Juli jeweils tagsüber. Teilweise wurden die aufgesammelten Individuen als Belegexemplar sowie für Laborversuche verwendet.

Zusätzlich zur Käferaufsammlung, wurden aus dem Bauwerk Nr. 30 Holzproben entnommen werden. Es handelte sich um 3 Holzteile aus Rotbuche (*Fagus sylvatica*), die 2006 (Probe I), 2007 (Probe II) und 2008 (Probe III) entnommen und einzeln in Insektarien (L x B x H = 45 cm x 25 cm x 15 cm) bei 20 °C und 70% r.F. gelagert wurden. Die aus den Holzproben geschlüpfen Käfer wurden täglich abgesammelt, auf Artniveau bestimmt und das Geschlechterverhältnis erfasst.

Holzfeuchte- und Raumklimamessung

Für die Felduntersuchungen wurde das Raumklima und begleitend die Holzfeuchte gemessen. Die Klimaerfassung diente insbesondere zur Beurteilung der Temperaturabhängigkeit des Käferschlupfes, die Holzfeuchte zur Bewertung des Befallsnachweises an verschiedenen Bauteilgruppen.

Die Messung der Holzfeuchte erfolgte im Rhythmus der Ablesetermine als orientierende Einzelmessung im Bereich der Papierabklebungen in 2005 und 2006. Es wurde der Feuchtegehalt an der Holzoberfläche in 1,0 cm Tiefe mittels Leitwertverfahren gemessen. Verwendet wurde das Holzfeuchtemessgerät der Firma BES Bollmann GmbH (Gottmadigen, D) vom Typ H-DI 3.3. Zusätzlich wurde als Momentaufnahme zum Ablesezeitpunkt die relative Luftfeuchte sowie die Raumluft- und Außenlufttemperatur mit dem Sekunden-Hygrometer Testo 600 der Firma Testo GmbH & Co. (Lenzkirch, D) erfasst.

Zur Erfassung des langfristig vorherrschenden Raumklimas wurden Temperatur und relative Luftfeuchte in 6 Untersuchungsbawerken vom 01. März 2006 bis 28. Februar 2007 aufgezeichnet. Es handelte sich um Gebäude in Fachwerk- (n=4) und Mauerwerksbauweise (n=2). Für die Messwertaufzeichnung wurde eine Abtastrate aller 10 Minuten und eine Speicherrate von 60 Minuten gewählt. Ein Auslesen der Daten erfolgte halbjährlich. Für die Messungen wurden Datenlogger der Firma Lufft (Fellbach, D) vom Typ OPUS 10 eingesetzt. Diese wurden in den Bauwerken in circa 2 m Höhe über Oberkante Fußboden positioniert.

2.3 Ergänzende Freilandversuche zur Lebensweise von Buntkäfern

Für die Beurteilung der Fallenfänge und des Schlupfnachweises mittels Papierabklebungen wurden mit aufgesammelten Imagines des Blauen Fellkäfers (*K. caeruleus*) Versuche zu deren Lebensweise durchgeführt. Es wurde deren Flugbereitschaft und die Dauer der Puppenruhe bestimmt. Die Art wurde aufgrund ihres häufigen Vorkommens ausgewählt.

Die Versuche zur Flugbereitschaft wurden unter verschiedenen Temperaturbedingungen im Freiland durchgeführt. Sie erfolgten im Zeitraum Mai bis Juni 2008 unter natürlichem Klima. Dazu wurden Käfer (n = 21) aus dem Bauwerk entnommen. Auf eine Geschlechtsbestimmung musste verzichtet werden, da sekundäre äußere Bestimmungsmerkmale für diese Art bisher nicht bekannt sind und das Geschlecht ohne Abtötung des Tieres nicht bestimmt werden kann. Als Versuchsfeld diente eine städtische Wiese mit Baumbestand. Windgeschwindigkeit und Lufttemperatur wurde vor Versuchsbeginn im Schatten mit dem Sekunden-Hygrometer Testo 600 bzw. mit dem Sekundenanemometer Testo 490 der Firma Testo GmbH & Co. (Lenzkirch, D) gemessen. Die Flugversuche erfolgten ausschließlich bei Windstärkeskala 2 nach BEAUFORT (leichte Brise mit Windgeschwindigkeiten von 1,8 m/s bis 3,1 m/s). Für den Abflug wurden pro Versuch jeweils 3 Versuchstiere auf ein Nadelholzbrett mit den Abmessungen L x B x H = 38 cm x 30 cm x 4 cm gesetzt und deren freier Abflug ohne zusätzliche Stimulation registriert. Die abgeflogenen Tiere wurden nicht wieder eingefangen.

Die Dauer der Puppenruhe wurde an 6 Tieren des Blauen Fellkäfers (*K. caeruleus*) bestimmt. Dazu wurden Larven der Spezies aus dem Gebäude (Nr. 1) entnommen und bei 20 °C und 50 % relative Luftfeuchte in Glaspetrischalen (Durchmesser 9 cm) im Dunkeln gehalten. Die Tiere erhielten ein rundes Stück weißes Filterpapier und wurden nicht gefüttert. Bis zum Beginn der Verpuppung erfolgte eine Kontrolle aller drei Tage. Zusätzlich zu den Labortieren, wurde in Hölzern nach Puppen gesucht. Dazu wurde das Holz aufgespalten. Damit war ein Vergleich in der Entwicklung zwischen Bauwerk und Labor gegeben. Die Bestimmung der Puppenruhezeit erfolgte zur Beurteilung der Ausschlußfaktivität und den Aufbau einer Zucht.

2.4 Laborversuche mit Buntkäfern

Anzuchtversuche mit Buntkäfern

Die Zuchtversuche wurden im Wesentlichen im Julius Kühn-Institut (JKI), Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für ökologische Chemie, Pflanzenanalytik und Vorratsschutz (ÖPV) in Berlin-Dahlem durchgeführt (vor dem 01.01.2008 Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Institut für Vorratsschutz). Die Versuche erfolgten an Larven und Imagines, die aus verschiedenen unter 2.1 benannten Bauwerken entnommen wurden. Für die Einzelversuche entstammten die Tiere nur aus einer Population.

Versuche mit Larven

Für die Larvenaufzuchtversuche wurden insgesamt 31 Buntkäferlarven angesetzt. Sie umfassten die Arten Blauer Fellkäfer (*Korynetes caeruleus*), Weicher Buntkäfer (*Opilo mollis*), Hausbuntkäfer (*Opilo domesticus*) und Schwarzflügeliger Holzbuntkäfer (*Tillus elongatus*). Die als Futtertiere eingesetzten Tabakkäferlarven (*Lasioderma serricornes*) stammten aus der Zucht des ÖPV. Die Buntkäferlarven wurden mit reichlichem Futterangebot gefüttert. Der Ansatz der Futtertiere erfolgte auf Weizenkleie, um einen möglichen negativen Einfluss von Tabak auszuschließen. Die Weizenkleie wurde aus 100 g Weizenkleie, 12 g Glukose, 20 g Hefe, 20 ml Glyzerin sowie 5 ml Wasser zubereitet und zur Abtötung vorratsschädlicher Insekten und Milben vor dem Einsatz bei ca. - 20 °C behandelt.

Die Haltung der Buntkäferlarven erfolgte wegen des in Vorversuchen ermittelten Kannibalismus einzeln in sogenannten Honiggläsern mit einem Durchmesser von 8 cm und einer Höhe von 9,5 cm. Als Verschluss diente ein Stofftuch bzw. ein Schraubdeckel aus Weich-PVC mit einem gestanzten Mittelloch, das mit einer in den Kunststoff eingeschweißten Drahtgaze bespannt war. Je Glas wurde Filterpapier, das nach Belieben befeuchtet wurde und ein durch den Gewöhnlichen Nagekäfer fraßgeschädigtes, ca. 4 cm langes und ca. 1,5 cm breites Nadelholzstück in Jahrringstärke beigelegt. Die Verwendung eines dickeren Holzstückes war nicht möglich, da wie Vorversuche zeigten, Versuchs- und Futtertiere sich in das Holz einbohren und damit nicht mehr kontrollierbar sind.

Die Tiere wurden in Klimazellen im Dunkeln gehalten, um der natürlichen Lebenssituation im Holzinneeren zu entsprechen. Von Versuchsbeginn im Juli 2006 bis August 2007 betrug das Zellenklima 16 bis 17 °C Lufttemperatur und 65 bis 70% relativer Luftfeuchte. Ab August 2007 wurde die Lufttemperatur auf 22 bis 23 °C bei gleicher Luftfeuchte erhöht, um die Entwicklung der Larven zu beschleunigen. Die Tiere wurden einmal wöchentlich mit lebenden Tabakkäferlarven gefüttert. Es wurden jeweils 5 große bzw. 10 kleine Futterlarven pro Buntkäferlarve zugegeben. Die Ermittlung der Anzahl gefressener Tabakkäferlarven erfolgte einmal im Monat. Zweimal pro Monat wurden die Buntkäferlarven mittels Sartorius Feinwaage (Genauigkeit: 0,001 g) gewogen, um die Gewichtsentwicklung zu dokumentieren. Dabei wurden vollzogene Häutungen der Buntkäferlarven protokolliert. Tote und angefressene Futterlarven wurden zum Fütterungszeitpunkt entfernt. Während der Zuchtdauer wurde eine Buntkäferlarve für die Untersuchung auf krankheitsauslösende Protozoen (Einzeller) aus der Zucht entnommen und dafür getötet. Die Untersuchung auf eine Protozoeninfektion erfolgte am Institut für Pflanzenschutz in Poznań (Polen).

Versuche mit Imagines

Für die Versuche wurden lebende Blaue Fellkäfer (*K. caeruleus*) aus dem Bauwerk aufgesammelt, da Zuchten nicht existieren. Der Schwarzflügelige Holzbuntkäfer (*T. elongatus*) hingegen wurde aus Holzproben gezüchtet. Damit war für die gezüchteten Tiere der Schlupftag der jeweiligen Imago im Vergleich zu den bauwerksentnommenen Tieren genau bekannt. Mit den Versuchen sollte die Konsumtion angebotener Futtertiere und die Lebensdauer der Imagines mit und ohne Futterzugabe untersucht werden. Zugleich wurden die Tiere auf

eine Eiablage kontrolliert. Für den Weichen Buntkäfer (*O. mollis*) ließ die geringe Individuenanzahl in den Bauwerken einen Versuchsansatz nur begrenzt zu, für den Hausbuntkäfer (*O. domesticus*) hingegen nicht.

Blauer Fellkäfer (*Korynetes caeruleus*)

Den Imagines wurden nach der Entnahme aus dem Bauwerk Tabakkäferlarven *Lasioderma serricornis* (FABRICIUS, 1792) und Larven des Brotkäfers *Stegobium paniceum* (LINNAEUS, 1761) als Futtertiere angeboten. Dazu wurden Gruppen mehrerer Blauer Fellkäfer in Zuchtgläsern von 300 ml Volumen unter Beigabe von Zellstoff- und den vor beschriebenen Holzstücken angesetzt. Es wurde nach kopulierenden Paaren gesucht, um männliche und weibliche Tiere in Gruppen aufteilen zu können. Je Buntkäfer wurde mit 10 Tabakkäfer- bzw. Brotkäferlarven reichlich gefüttert. Die Tiere wurden in Klimazellen bei 17 °C und 70 % relativer Luftfeuchte in Dunkelheit gehalten und der Zellstoff für eine Wasseraufnahme der Imagines entsprechend befeuchtet. Eine Prüfung auf Mortalität und Eiablage erfolgte zu verschiedenen Zeitpunkten. Mit einem Binokular wurde das Füllmaterial auf Eier abgesucht.

Um den Einfluss der Haltungstemperatur auf die Lebensdauer verpaarter Individuen zu studieren, wurden insgesamt 34 Paare bei verschiedenen Temperaturbedingungen (17/23/28 °C) und 70 % relativer Luftfeuchte gehalten. Dazu wurden die Paare mit je einem männlichen und weiblichen Tier kurz vor Versuchsbeginn in Kopulationsstellung aus dem Bauwerk entnommen und paarweise in Glaspetrischalen von 5 cm Durchmesser und 1,5 cm Höhe zusammengesetzt. In jede Schale wurde ein kreisförmiges Filterpapier gelegt. Das Filterpapier wurde befeuchtet. Zusätzlich wurde ein anobiengeschädigtes Holzstück mit der Kantenlänge von 1 cm x 1 cm x 1 cm beigegeben. Die Haltung erfolgte in Klimazellen bei Dunkelheit ohne Futter. Wöchentlich wurde auf Mortalität und Eiablage kontrolliert. Nach Versuchsende wurden das Geschlecht der Tiere durch Genitalpräparation am toten Käfer nachbestimmt, um sicher zu sein, dass es sich bei den zusammengesetzten Tieren je um ein männliches und ein weibliches Tier gehandelt hat.

Schwarzflügeliger Holzbuntkäfer (*Tillus elongatus*)

Diese Spezies wurde aus den unter 2.2 beschriebenen Hölzern gezüchtet. Für die Versuche zur Lebensdauer wurden die Käfer in Glaspetrischalen von 9 cm Durchmesser und 2 cm Höhe gesetzt. In jede Schale wurde ein kreisförmiges weißes Filterpapier gelegt. Dieses wurde ad libitum befeuchtet. Gefüttert wurde mit lebenden Tabakkäferlarven. Zusätzlich wurden Larven vom Gewöhnlichen Nagekäfer (*A. punctatum*) und Imagines des Gekämmten Nagekäfers (*P. pectinicornis*) angeboten. Wie in Vorversuchen ermittelt, werden diese Futtertiere angenommen. Neue Futtertiere wurden jeweils nach Konsumierung des angebotenen Futters zugegeben. Die Haltung erfolgte paarweise und als Einzeltier bei 20 °C und 70 % r. F. mit Tag-Nacht-Wechsel. Täglich wurde auf abgelegte Eier kontrolliert. Es wurde der Zeitraum zwischen dem Zusammensetzen der Partner und der Eiablage sowie die Lebensdauer von verpaarten und Einzeltieren bestimmt. Zum Vergleich erfolgten Hungerversuche ohne Futterzugabe.

Weicher Buntkäfer (*Opilo mollis*)

Die Art wurde aus dem Bauwerk entnommen. Für die Versuche zur Lebensdauer wurden adulte Tiere in Glaspetrischalen von 9 cm Durchmesser und 2 cm Höhe gesetzt. In jede Schale wurde ein kreisförmiges weißes Filterpapier gelegt. Dieses wurde ad libitum befeuchtet. Gefüttert wurde variierend mit lebenden und frishtoten adulten Gescheckten Nagekäfern (*X. rufovillosum*) und lebenden adulten Gekämmten Nagekäfern (*P. pectinicornis*). Die Futtertiere wurden ebenfalls dem Bauwerk entnommen und einzeln jeweils nach Konsumierung des zuvor angebotenen Futters zugegeben. Die Haltung erfolgte als Einzeltier bei 20 °C Temperatur und 50 % r. F. mit Tag-Nacht-Wechsel.

Begasungsversuche mit Sulfuryldifluorid

Die Begasungsversuche erfolgten im Julius Kühn-Institut (JKI), Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für ökologische Chemie, Pflanzenanalytik und Vorratsschutz (ÖPV) in Berlin-Dahlem.

Versuchsordnung

Die Begasung der Versuchsorganismen erfolgte im ersten und zweiten Versuch in Exsikkatoren, im dritten und vierten Versuch in der stationären Begasungskammer des Instituts. Um Bauwerksbedingungen zu simulieren, wurden eigene Holzprüfklötze zur Aufnahme der Prüftiere entwickelt. Einen Prüfstandard, wie er für flüssige Holzschutzmittel z. B. mit den Normen DIN EN 49, Teil 1 und 2 sowie DIN EN 370 vorliegt, gibt es für Begasungsmittel im Holzschutz nicht. Die Dimension der in den Versuchen eingesetzten Prüfklötze betrug einheitlich $H \times B = 160 \times 160$ mm. Sie entspricht damit in etwa den üblichen Querschnitten tragender Bauteile in historischen Holzkonstruktionen. In der Länge wurden die Prüfklötze variiert, um die bessere Durchdringung des Gases in Faserlängsrichtung im Vergleich quer zur Faser berücksichtigen zu können. Die Einzellängen betrug $L = 230$ mm, $L = 150$ mm, $L = 110$ mm und wurden als Serie eingesetzt. Abbildung 2 zeigt die Skizze des Prüfklötzes mit der Dimension $H/B = 160/160$ mm und einer Länge von $L = 230$ mm einschließlich der darin befindlichen Aussparung zur Aufnahme der Tiere sowie die fotografische Aufnahme einer Prüfklötzeserie, bestehend aus 3 Prüfklötzen, mit aufgeklappten Hälften.

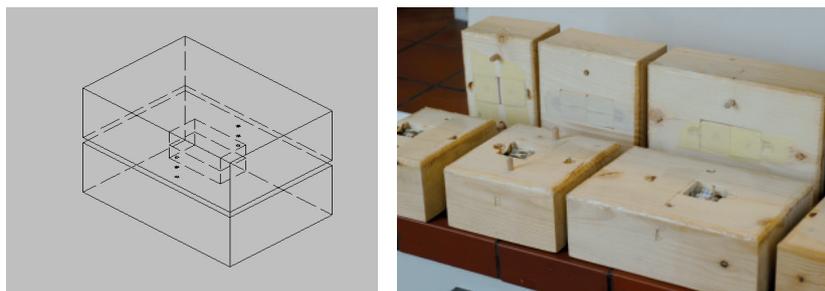


Abbildung 2: Prüfklötze zur Aufnahme der Versuchstiere während der Begasung, links Skizze eines Prüfklötzes ($160 \times 160 \times 230$ mm) aus zwei Hälften zusammengesetzt, rechts als Prüfklötzeserie mit aufgeklappten Hälften und eingesetzten Versuchstierbehältern in den inneren Aussparungen

Die Prüflötze bestehen aus gehobelten Nadelholz. Dabei wurden Neu- und Althölzer verwendet. Neuholz ist Fichte (*Picea abies*), Altholz ist Kiefer (*Pinus sylvestris*) bzw. Lärche (*Larix decidua*). Für die Begasung wurden Neu- und Althölzer eingesetzt, während die Kontrolllötze ausschließlich aus Neuholz bestanden. Eine Zusammenstellung der für die Begasung verwendeten Prüflötze enthält Tabelle 56 im Anhang.

Die Prüflötze wurden in der Höhe halbiert und zur Lagesicherung der beiden Hälften Holzdübel verwendet. Je Prüflötzhälfte wurde mittig ein Hohlraum von $L \times B \times H = 80 \text{ mm} \times 40 \text{ mm} \times 20 \text{ mm}$ ausgespart. Diese Aussparung diente zum Aufnehmen der Versuchstiere. Im ersten Versuch wurden die Versuchstiere direkt in eigene Holzklötzchen ($40 \text{ mm} \times 40 \text{ mm} \times 20 \text{ mm}$) eingesetzt, während in den weiteren Versuchen Versuchstierbehälter verwendet wurden. Es handelte sich um Glaszylinder von 15 mm Länge und 9,5 mm Innendurchmesser mit einer Kunststoffgaze von 0,135 mm Maschenweite am Zylinderboden. Die Röhrchen wurden mit Gummistopfen verschlossen. In jeden Versuchstierbehälter wurde eine Larve eingesetzt. Die Behälter wurden in die Aussparung verbracht und mit Holzklötzchen und Klebeband fixiert.

Versuchsreihen

Es wurden insgesamt vier Versuchsreihen durchgeführt. Mit jeder Versuchsreihe wurde das ct-Produkt reduziert. Je Versuch wurden zwei Probenserien bestehend aus sechs Prüflötzern begast und je eine Probenserie mit drei Prüflötzen als Kontrolle ohne Begasung mitgeführt. Dabei wurden die unbehandelten Kontrollproben in gleicher Weise wie die Versuchsproben behandelt.

Sulfuryldifluorid wurde in drei Konzentrationsstufen (30 g/m^3 , 10 g/m^3 , 5 g/m^3) eingesetzt, wobei die Einwirkzeit des Gases 72 h bzw. 24 h betrug. Je Prüflötze wurden zwei Larven des Gewöhnlichen Nagekäfers (*A. punctatum*) und zwei Larven des Blauen Felkkäfers (*K. caeruleus*) eingesetzt. Damit wurden je Versuchsreihe 18 Tiere verwendet. Nach dem Einbringen der Tiere wurden die beiden Hälften der Prüflötze an der gefasteten Nut mit Aquariensilikon (Marina® Silikonkleber für Aquarien, transparent für den 1. bis 3. Versuch und Probau Aquadicht, Spezialsilikon, transparent für den 4. Versuch) verschlossen und zum Auslüften der Essigsäure bis zur Eingasung bei 23 °C und 60% bis 70% relativer Luftfeuchte in einer Klimazelle für 3 bis 5 Tage gelagert. Die Begasung wurde bei Klimabedingungen von 16 bis 17 °C und ~70% relativer Luftfeuchte durchgeführt, die dem natürlichen Habitat der Tiere entsprechen. Mittels einer im Becherglas (Exsikkator) bzw. zwei Schalen (Begasungskammer) beigefügten gesättigten Natriumchloridlösung wurde die geplante Luftfeuchte erreicht (WINSTON & BATES 1960). Die Erfassung der Klimadaten erfolgte mit beigefügten Datenloggern. Zur gleichmäßigen Verteilung der Wirksubstanz wurde für die Begasung in den Exsikkatoren ein Magnetrührer eingesetzt. Eindosiert wurde das Gas bei gleichzeitiger Erfassung der Konzentration mit einem Fourier-Transformations-Infrarot-Spektroskopie (FTIR)-Messgerät. Die Eindosierung erfolgte bei der Begasung in den Exsikkatoren mittels Gasspritze und in der Begasungskammer mittels Gaswaschflasche die in den Kreislauf zwischen Pumpe und Kammer eingebaut wurde. Nachdosiert wurde mit einer Gasspritze. Bei der Begasung in den Exsikkatoren wurde das FTIR-Gerät erneut zum Messen während der Ausgasung (Lüftung) angeschlossen. Bei der

Kammerbegasung erfolgte die Lüftung über die Nachbarkammer, die über einen Anschluss zur Außenluft verfügt. Nach der Messung wurden die Prüfklotze unter dem Abzug gelagert, um aufgenommene Gasreste abdunsten zu lassen. Anschließend wurden die begasten und unbegasten Prüfklotze bis zum Öffnen in einer Klimazelle bei 23 °C gelagert. Die Öffnung der Prüfklotze zur Überprüfung der Larven erfolgte am Folgetag nach der Ausgasung (~24 Stunden nach der Lüftung) im Labor. Innerhalb von 10 bis 13 Tagen wurden zwei weitere zeitlich gestaffelte Nachüberprüfungen nach der ersten Mortalitätskontrolle durchgeführt, um die Endpunktmortalität zu bestimmen.

Zur Beurteilung eines Wirkstoffes ist nur die durch dessen Einfluss auftretende Mortalität von Interesse. Die wirkstoffunabhängige Mortalität bei den Versuchsorganismen über die Dauer der Experimente, hervorgerufen durch natürliche Ursachen, spezielle Versuchsbedingungen oder unvermuteten Eigenschaften des Versuchsmaterials, ist deshalb aus der Gesamtmortalitätsrate herauszurechnen (АВБОТТ-Korrektur 1925). Zur Bestimmung der natürlichen Mortalitätsrate diente das Mitführen unbehandelter Versuchsproben, die nicht dem Wirkstoff ausgesetzt wurden.

Versuchstiere

Verwendet wurden Larven des Gewöhnlichen Nagekäfers (*A. punctatum*) als Schädling und Larven des Blauen Fellkäfers (*K. caeruleus*) als Nützling. Das jeweilige Larvenstadium konnte nicht bestimmt werden. Die Gewichte der eingesetzten Larven sind in Tabelle 60 im Anhang dargestellt. Während die Larven der Buntkäferart für alle Versuche ausschließlich aus der Bauwerksentnahme entstammten, wurden Schädlinglarven teilweise aus der Anobienzucht der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin verwendet. Die Tiere wurden dankenswerter Weise durch die BAM bereitgestellt und für die 3. und 4. Begasung verwendet. Für die 1. und 2. Begasung wurden Schädlinglarven aus dem Bauwerk (Nr. 1), die durch Aufspalten von Hölzern gewonnen wurden, eingesetzt.

Die Larven des Blauen Fellkäfers wurden durch Aufsammlung dem Bauwerk (Nr. 1 für die 1. und 2. Begasung, Nr. 22 für die 3. und 4. Begasung) entnommen. Die Tiere entstammten damit für jeden der 4 Begasungsversuche aus einer Population. Die Larven wurden nicht gefüttert.

Für die durchgeführten Begasungen des Schädlings und seines Prädatoren erfolgten keine Wiederholungsversuche, da die Anzahl der verfügbaren Buntkäferlarven begrenzt war.

2.5 Apparative Schadensdiagnose

Für die Diagnose von Insektenfraßschäden im Holzinneeren wurden zwei apparative Verfahren eingesetzt. Es handelt sich um die zerstörungssarme Untersuchung mittels Bohrwiderstandsmessung und die zerstörungsfreie Prüfung mittels Ultraschallecho. Eine Verifizierung der Messergebnisse erfolgte durch Aufschneiden der Holzproben. Zusätzlich wurden ausgewählte Proben noch durch radiologische Aufnahmen überprüft.

Die Untersuchungen mit der Bohrwiderstandsmethode erfolgten im Holzlabor der Hochschule Wismar, während die Ultraschallechountersuchungen an der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin, Fachgruppe Zerstörungsfreie Schadensdiagnose und Umweltmessverfahren sowie an der Landesgewerbeanstalt Bayern (LGA), Nürnberg durchgeführt wurden. Die ergänzende radiologische Untersuchungen zur Verifizierung erfolgte ebenfalls an der BAM, Fachgruppe Zerstörungsfreie Prüfung und Charakterisierung, Radiologische Verfahren.

Bohrwiderstandsmessung

Mit der Bohrwiderstandsmethode lassen sich Bereiche im Holz mit geringer Festigkeit lokalisieren (RINN et al. 1990). Dabei wird eine dünne, 1,5 mm dicke Stahlnadel unter einer definierten Vorschubgeschwindigkeit in das Holz gebohrt. Vorschub und Drehzahl der Nadel werden automatisch gesteuert. Die Geometrie der Nadel bewirkt, dass der Bohrwiderstand unmittelbar an der Spitze gemessen wird. Zeitgleich während des Bohrvorganges erfolgt der Ausdruck der Messwertprofile, die als Bohrprofil bezeichnet werden. Für die Auswertung der Bohrwiderstandsmessung wurde das DECOM Programm des Geräteherstellers verwendet.

Die Untersuchungen an insektenbefallenen Hölzern wurden mit dem Resistograph ® 3450 – P (4452 – S), bestehend aus dem Bohrgerät und dem Akkupack mit Drucker und internen Datenspeicher der Firma Rinntech (Heidelberg, D) durchgeführt.

Ultraschallechomessung

Beim Ultraschallechoverfahren wird das Echo einer vom Sendekopf ausgehenden Schallwelle vom Empfangskopf aufgenommen. Für die Messung wird die abschattende und störende Wirkung von Baustoffunregelmäßigkeiten auf das Schallverhalten genutzt. Das Verfahrensprinzip beruht darauf, dass niederfrequente Schallimpulse in das Bauteil gesendet werden, welche an der Bauteilrückwand bzw. an Fehlstellen reflektiert werden (HASENSTAB & KRAUSE 2004). Die vom Sender gesendeten und vom Empfänger empfangenen akustischen Ultraschallimpulse werden auf Reflexion hin untersucht. Bedingt durch die federnde Lagerung der Prüfköpfe des Transversalwellenprüfkopfes war beim Ultraschallechoverfahren eine gute Ankoppelung an leicht unebene Oberflächen möglich. Der Verzicht auf Koppelmittel bewahrte vor der Verschmutzung des Untersuchungsgegenstandes.

Die Messungen erfolgten mit einem Transversalwellenprüfkopf A 1220 mit einem Array aus 24 Punktkontakt-Prüfköpfen TD 20 (12 Prüfköpfe als Sender und 12 Prüfköpfe als Empfänger geschaltet) der Firma ACSYS (Moskau, RUS) mit einer Prüffrequenz von 55 kHz.

Digitale Radiografie

Die digitale Radiografie ist ein Durchstrahlungsverfahren, bei dem anstelle eines Filmes Matrixdetektoren auf Halbleiterbasis oder Speicherfolien mit einem Auslesegerät verwendet werden. Diese kommen mit einer geringeren Röntgendosis im Vergleich zum Film aus. Besondere Vorteile gegenüber dem Röntgenfilm sind die weitaus größere Helligkeits- und Kontrastdynamik und die Möglichkeit einer digitalen Bildbearbeitung zur Hervorhebung interessierender struktureller Detail (OSTERLOH et al. 2005).

Zum Einsatz gekommen ist ein direkt auslesbarer Flachdetektor (Agfa DirectRay am-Se, 139 µm Pixelgröße, Bildgröße 2560 x 3072 Pixel, 14 bit linear) zusammen mit einer mobilen Röntgenblitzröhre GE XR 200 (150 kV, 99 Impulse) der Firma Golden Engineering (Centerville, IN, USA) mit einem Focus-Detektor-Abstand von 1000 mm.

Die Aufnahmen erfolgten in einfacher Durchstrahlung im Labor der BAM.

Untersuchungsmaterial

Für die apparativen Untersuchungen wurden 17 verschiedene Nadel- und Laubhölzer verwendet, welche durch die Zielorganismen Gewöhnlicher Nagekäfer (*A. punctatum*), Gescheckter Nagekäfer (*X. rufovillosum*) und Gekämmter Nagekäfer (*P. pectinicornis*) eine natürliche Holzschädigung aufwiesen. Die Proben wurden überwiegend aus den unter 2.1 genannten Gebäuden entnommen. Es handelte sich um die Nadelholzarten Fichte (*Picea abies*) und Kiefer (*Pinus sylvestris*) sowie die Laubhölzer Eiche (*Quercus* sp.) und Rotbuche (*Fagus sylvatica*). Für die Untersuchungen mit Ultraschallecho wurde ergänzend Lärche (*Larix decidua*) verwendet. Als Kontrollprobe wurden jeweils ungeschädigte Hölzer dieser Holzarten verwendet. Die Hölzer befanden sich zum Zeitpunkt der Messung im lufttrockenen Zustand mit einer Holzfeuchte von 15% ± 3%. Die Feuchtebestimmung erfolgte mittels Wäge-Darr-Methode (NORM DIN EN 13183-1) an abgetrennten Holzstücken der Proben. Das Holzalter wurde unter Bezugnahme auf die Bauzeit des Gebäudes geschätzt. Die Holzart wurde mikroskopisch über typische Strukturmerkmale bestimmt. Bei einem zusätzlichen Befall durch Pilze und weitere Insektenarten wurden diese als „sekundäre“ Schädigung vermerkt. Die Holzoberflächen waren sägerau bzw. handbehauen. Es handelte sich um originale Holzstücke von Deckenbalken, Dachverbandshölzern, Fachwerk- und Gestühlteilen.

Für die Bohrwiderstandsmessung wurden 57 Prüfflächen angelegt. Entsprechend der Struktur und Geometrie des Holzes umfasst die Prüffläche eine Größe von 10 x 10 cm mit 9 Bohrungen bzw. 5 x 5 cm mit 5 Bohrungen. Die auf der Prüffläche vorhandene Anzahl an Insektenschlupflöchern der Zielarten wurde erfasst. Nach Durchführung der Messung wurden die Holzproben entlang des Bohrganges zur Verifizierung aufgeschnitten, die Holzoberfläche geschliffen (Papierkörnung 120). In einer visuellen Gegenüberstellung von aufgeschnittener Probe und entsprechendem Bohrprofil konnte festgestellt werden, wie zuverlässig Fraßgänge der einzelnen Holzschädlingsarten im Bohrprofil angezeigt werden. Ein Vergleich der aufgeschnittenen Holzoberfläche mit den zugehörigen Bohrwiderstandsprofilen erfolgte im Maßstab 1 : 1.

Die Untersuchungen mit dem Ultraschallechoverfahren erfolgten an 9 insektengeschädigten Holzproben der benannten Holzarten und Herkunft. Fünf dieser Hölzer wurden sowohl für die Bohrwiderstandsmessung als auch die Ultraschallechomessung eingesetzt. Dabei wurden die Untersuchungen mit Ultraschallecho vor Anwendung der Bohrwiderstandsmethode und dem anschließenden Aufsägen der Proben durchgeführt. Es erfolgte die Anfertigung von Laufzeit/ Intensitäts-Bildern (A-Bild) und zweidimensionalen Bildern (B-Bild) durch Zusammensetzen mehrerer A-Bilder.

2.6 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung wurde mit SAS® 9.1 durchgeführt (MOLL et al. 2004). Für die Untersuchung des Zusammenhanges zwischen Schlupflöchern im Papier und mit Klebefalle gefangenen Imagines wurde der SPEARMANSche Rangkorrelationskoeffizient berechnet. Korrelationen zwischen der Schlupflochanzahl und den mittels Bohrwiderstandsmethode detektierten Fraßgängen wurden mit Hilfe des Korrelationskoeffizienten nach PEARSON untersucht. Daten zur Lebensdauer adulter Tiere wurden einer Probit-Analyse unterzogen. Häutungen der Zuchtlarven wurden mit dem exakten WILCOXON-Test verglichen. Eine Auswertung zur Nachsterblichkeit begaster Individuen erfolgte nach der Kontingenztafelanalyse (χ^2 -Test, exakt) auf dem Signifikanzniveau 0,05. Zur Beschreibung monovariabler Verteilungen wurde das arithmetische Mittel und die Standardabweichung verwendet.

Die verwendeten Korrelationskoeffizienten als Maßzahlen für die lineare Abhängigkeit zwischen zwei Zufallsvariablen sind die gebräuchlichsten. Wegen der geringen Anzahlwerte wurde der Rangkorrelationskoeffizient bevorzugt. Größere Anzahlen können in der Regel wie quantitative Merkmale ausgewertet werden, so dass der PERSONSche Korrelationskoeffizient berechnet wurde. Die Probit-Analyse ist ein Verfahren zur Analyse von Dosis-Wirkungs- oder Zeit-Wirkungs-Beziehungen. Es handelt sich um eine spezielle nichtlineare Regressionsanalyse. Für die Auswertung von Häufigkeiten wurde die Kontingenztafelanalyse mit dem χ^2 -Test eingesetzt.

3 Untersuchungsergebnisse und Auswertung

3.1 Monitoring der Schädlinge und ihrer natürlichen Feinde

3.1.1 Papierabklebungen

Im Nachfolgenden werden die mittels angebrachten Papierabklebungen nachgewiesenen Holzschädlinge und deren natürliche Gegenspieler beschrieben. Ihre Ausschlu­p­faktivität wird erläutert. Es wird jeweils einem Tier ein Ausschlu­p­f­loch zugeordnet.

Ausschlupfaktivität

Der Ausschlu­p­fzeitpunkt der Zielarten Gescheckter Nagekäfer (*Xestobium rufovillosum*), Ge­wöhnlicher Nagekäfer (*Anobium punctatum*), Blauer Felkäfer (*Korynetes caeruleus*), Weicher Buntkäfer (*Opilo mollis*) und deren summarisch ermittelte Gesamtanzahl sind in Tabelle 2 für 2005 und in Tabelle 3 für das Jahr 2006 dargestellt. Es handelt sich um die nachgewiesenen Zielorganismen in den untersuchten Bauwerken an verschiedenen Standorten im Zeitraum März bis August der beiden Untersuchungs­jahre. Die Zahlenangaben in den Tabellen beschreiben die Häufigkeit der einzelnen Zielarten, die mittels Schlupfloch in den Papierabklebungen der Untersuchungsgebäude registriert wurde (2005: 26 Gebäude, 2006: 25 Gebäude).

Tabelle 2: Gesamtanzahl nachgewiesener Schlupflöcher in den Papierabklebungen adulter Tiere der Arten *X. rufovillosum*, *A. punctatum*, *K. caeruleus*, *O. mollis* im Zeitraum März bis August 2005

Zielarten	März	April	Mai	Juni	Juli	August
Anobiidae:						
<i>Xestobium rufovillosum</i>	0	143	213	4	0	0
<i>Anobium punctatum</i>	0	0	0	9	1604	59
Cleridae:						
<i>Korynetes caeruleus</i>	0	0	10	9	9	0
<i>Opilo mollis</i>	0	6	2	0	0	0

Der Gescheckte Nagekäfer ist von April bis Juni 2005 geschlüpft. Die größte Ausschlu­p­faktivität wurde im Mai erreicht. Im Juni waren nur noch wenige Exemplare nachweisbar. Das erste Schlupfloch der Schädlingsart wurde am 14. April 2005 registriert. Der Weiche Buntkäfer, als Präda­tor trat zeitgleich mit seiner Beute auf. Der Schlupf vom Gewöhnlichen Nagekäfer erfolgte um einen Monat verzögert von Juni bis August. Die höchsten Ausschlu­p­fzahlen wurden im Juli 2005 erreicht. Der Blaue Felkäfer war ab Mai über drei Monate in wesentlich geringerer Anzahl wie der Gewöhnliche Nagekäfer nachweisbar.

Tabelle 3: Gesamtanzahl nachgewiesener Schlupflöcher in den Papierabklebungen adulter Tiere der Arten *X. rufovillosum*, *A. punctatum*, *K. caeruleus*, *O. mollis* im Zeitraum März bis August 2006

Zielarten	März	April	Mai	Juni	Juli	August
Anobiidae:						
<i>Xestobium rufovillosum</i>	0	65	248	4	0	0
<i>Anobium punctatum</i>	0	0	6	853	1577	68
Cleridae:						
<i>Korynetes caeruleus</i>	0	1	16	10	6	1
<i>Opilo mollis</i>	0	1	7	0	0	0

Das Ausschluflprofil beider Untersuchungsjahre ist ähnlich. Der Gescheckte Nagekäfer schlüpfte auch 2006 von April bis Juni mit einem besonders starken Ausschlufl im Mai. Das erste Käferschlupfloch wurde am 20. April 2006 festgestellt. Der räuberische Weiche Buntkäfer (*O. mollis*) trat ausschließlich im Mai auf. Erste Exemplare des Gewöhnlichen Nagekäfers schlüpfen 2006 bereits im Mai. Die Anzahl der Schlupflöcher erreichte ihren Höhepunkt wie im Vorjahr im Monat Juli. Der Schlupfbeginn des Blauen Fellkäfers wurde im April registriert. Der Hauptschlupf lag im Mai. Für die beiden Folgemonate bestand eine abnehmende Tendenz im Schlupfprofil. Ein Käfer dieser Art wurde noch im August nachgewiesen. Im August war der Ausschlufl aller Zielorganismen abgeschlossen. Der räuberische Hausbuntkäfer (*O. domesticus*) war in keinem der beiden Untersuchungsjahre mittels Papierabklebung nachweisbar.

Relative Häufigkeit der Individuen

An den Papierabklebungen wurden zusätzlich zu den Imagines auch noch die Larven der Buntkäfer festgestellt. Diese waren ab Ende April nachweisbar. Sie hinterließen ein Fraßloch im Papier, um auf die Holzoberfläche zu gelangen. Die Abbildungen 3 und 4 zeigen für die Jahre 2005 und 2006 die Gesamtanzahl der in den Papierabklebungen nachgewiesenen Schlupflöcher der Imagines bzw. Fraßlöcher von Larven. Die Nagekäfer wurden als Imagines erfasst, die Buntkäferarten in adulte Tiere und Larven unterschieden. Zusätzlich werden die Schlupflöcher parasitoider Wespen aus der Ordnung der Hautflügler (Hymenoptera) angegeben. Die summarischen Einzeldaten für jedes Gebäude und jedes Untersuchungsjahr enthalten Tabellen 36 und 40 im Anhang. Zusätzlich wurden die Aktivitätszahlen monatsbezogen sortiert (Tabelle 37 bis 39 bzw. Tabelle 41 bis 43 im Anhang).

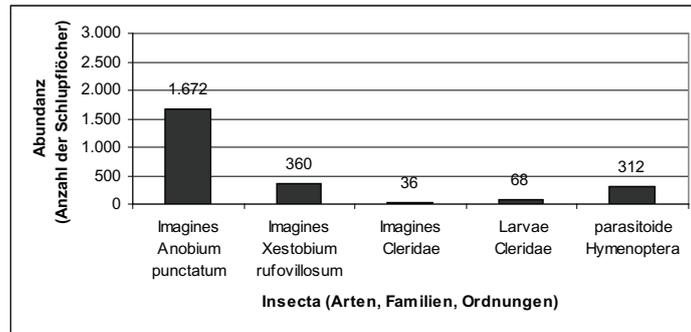


Abbildung 3: Aktivitätszahlen der Zielarten *A. punctatum*, *X. rufovillosum*, Cleridae spec. und parasitoider Wespen auf der Grundlage der Ausschupflöcher (n=2.032) an allen Papierabklebungen (n=257, Abklebungsfläche A = 40,99 m²) in 26 Gebäuden von März bis August 2005

In der Saison März bis August 2005 wurden an den insgesamt angebrachten Papierabklebungen 2.032 adulte Tiere als Schädling nachgewiesen. Adulte Buntkäfer wurden nur in geringer Anzahl (n=36) erfasst. Dabei entfallen 28 Ausschupflöcher auf den Blauen Fellkäfer und 8 auf den Weichen Buntkäfer. Das Larvenstadium der Buntkäfer wurde als Fraßloch (n=68), welches die Tiere beim Verlassen des Holzinneren im Papier erzeugen, nachgewiesen. Parasitoide Hymenopteren (n=312) waren in erheblich größerer Anzahl als die Cleriden vorhanden. Sie wurden als Imago gezählt.

Der Ausschupf der Zielarten aus der Familie der Nage- und Buntkäfer war im August 2005 abgeschlossen. Im erweiterten Erfassungszeitraum ab September bis Oktober 2005 erhöhte sich die Anzahl der Ausschupflöcher noch um 26 Fraßlöcher der Cleridenlarven (n=94) und um 63 Ausschupflöcher der parasitoiden Wespen (n=375).

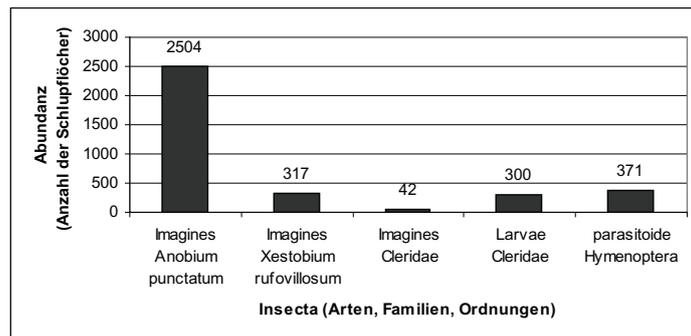


Abbildung 4: Aktivitätszahlen der Zielarten *A. punctatum*, *X. rufovillosum*, Cleridae spec. und parasitoider Wespen auf der Grundlage der Ausschupflöcher (n=2.821) an allen Papierabklebungen (n=302, Abklebungsfläche A = 47,51 m²) in 25 Gebäuden von März bis August 2006

In der Saison 2006 wurden im Zeitraum März bis August 2.821 adulte Schädlinge beider Nagekäferarten mittels Schlupfloch im Papier nachgewiesen. Im Vergleich zum Vorjahr wurde die Anzahl von Papierabklebungen um 6,52 m² auf 47,51 m² erhöht. Die Anzahl prädatorischer adulter Buntkäfer (n = 42) war ähnlich dem Vorjahr. Ebenso wie in 2005 handelte es sich überwiegend um den Blauen Fellkäfer (n = 34). Der Weiche Buntkäfer, als zweite Spezies aus der Familie der Buntkäfer, wurde wieder mit 8 Imagines gezählt. Die Anzahl an Fraßlöchern der Buntkäferlarven erhöhte sich im Vergleich zum Vorjahr deutlich (auf n = 300 zu 68 in 2005). Parasitoide Wespen wurden im vergleichbaren Zeitraum in etwas erhöhter Anzahl erfasst (n = 371 zu 312 in 2005).

In 2006 wurden im Juli parasitoide Wespen von den Papierabklebungen stichprobenartig abgefangen und die Art bestimmt (n = 12). Es handelte sich ausschließlich um die Spezies *Spathius exarator* [Linnaeus, 1758] (Tabelle 44 im Anhang).

Teilergebnisse wurden bereits publiziert (HAUSTEIN et al. 2006 a, 2007 a).

Räuber-Beute-Zahlenverhältnisse

Die Papierabklebung zur Ermittlung des Räuber-Beute-Verhältnisses wurde 2005 in 26 Gebäuden und 2006 in 25 Gebäuden angewendet. Das mit der Methode der Papierabklebung als befallsfrei nachgewiesene Gebäude (Nr. 2) wurde 2006 nicht mehr betrachtet.

Nicht in jedem Bauwerk konnten mittels Papierabklebung adulte Buntkäfer festgestellt werden. Die Anzahl der Räuber war im Vergleich zum Schädling geringer. Das günstigste Räuber-Beute-Verhältnis lag bei 1 : 1, das ungünstigste bei 1 : 373. Im Mittelwert war für beide Jahre das Räuber-Beute-Verhältnis für die 26 (2005) bzw. 25 (2006) Untersuchungsgebäude ähnlich (Tabelle 4). Für jeweils 9 Gebäude lies sich ein Räuber-Beute-Verhältnis nur in einem der beiden Untersuchungsjahre darstellen, entweder für das Vorjahr oder das Folgejahr. Die einzelnen Zahlenwerte können dem Anhang entnommen werden (Tabelle 45). Der Weiche Buntkäfer konnte in beiden Jahren nur in einem Gebäude (Nr. 8) nachgewiesen werden. Es handelt sich in jedem Jahr um jeweils 8 Exemplare, während der Blaue Fellkäfer mit 28 (2005) bzw. 34 (2006) adulten Käfern deutlich dominierte. Damit kamen für beide Jahre insgesamt 78 Imagines der Buntkäfer auf 4.853 Imagines der Nagekäfer. Im Vergleich beider Untersuchungsjahre bestand im Räuber-Beute-Verhältnis ein ähnlicher Trend.

Tabelle 4: Summe nachgewiesener Schlupflöcher adulter Bunt- und Nagekäfer in den Papierabklebungen und Mittelwert des Räuber-Beute-Verhältnisses (R/B) aus allen Untersuchungsgebäuden (2005: n = 26, 2006: n = 25), die beiden Nagekäfer- wurden als Beute und die Buntkäferarten als Räuber zusammengefasst (Ap = *Anobium punctatum*, Xr = *Xestobium rufillosum*, Kc = *Korynetes caeruleus*, Om = *Opilo mollis*)

2005					2006				
Ap	Xr	Kc	Om	R/B	Ap	Xr	Kc	Om	R/B
1.672	360	28	8	1:56	2.504	317	34	8	1:67

Nachweis eines aktiven Befalls durch Holzschädlinge

In 2005 wurde mit der in den Gebäuden (n = 26) eingesetzten Methode der Papierabklebung, mit Ausnahme eines Bauwerkes (Nr. 2), ein aktiver Befall durch Holzschädlinge nachgewiesen. Im Folgejahr 2006 wurde das befallsfreie Gebäude in die Untersuchung nicht mehr mit einbezogen. Bei den Schädlingen handelte es sich um die beiden Nagekäferarten (*A. punctatum* und *X. rufovillosum*). Andere Holzschädlingsarten wurden mit dieser Methode nicht nachgewiesen. Das Auftreten des Nützlings war an das Vorkommen des Schädlings gebunden.

Im Jahr 2005 konnte an 160 Stück (A = 28,51 m²) von insgesamt 257 Stück (A = 40,99 m²) angebrachten Papierabklebungsflächen der Nachweis eines aktiven Befalls erfolgen. Das sind 70 % der Gesamtabklebungsfläche in den Untersuchungsbauwerken. An 30 % der Papierabklebungen war kein Schlupfloch feststellbar. Im Folgejahr 2006 wurde die Anzahl der Papierabklebungen um 45 Stück (A = 6,52 m²) auf insgesamt 302 Stück (A = 47,51 m²) erhöht. Ein Nachweis anhand von Ausschluflöchern erfolgte an 78 % (n = 209, A = 37,07 m²) der Flächen, während 22 % der Abklebungsflächen ohne Ausschluflöcher blieben. Der Befallsnachweis war für beide Jahre ähnlich. Eine Zusammenstellung der Anzahl angebrachter Papierabklebungen in jedem Gebäude, sortiert nach Flächen mit und ohne Befallsnachweis für beide Untersuchungsjahre enthalten die Tabellen 46 und 47 im Anhang.

Der prozentuale Anteil der mittels Papierabklebung nachgewiesenen Insektenarten wurde nach den in den Gebäuden vorherrschenden Holzarten für beide Untersuchungsjahre sortiert (Tabelle 5). Der Nachweis der Schädlinge erfolgte entsprechend deren Nahrungspräferenz.

Tabelle 5: Prozentualer Anteil der mit Papierabklebungen nachgewiesenen Insektenarten, sortiert nach Holzarten für die Untersuchungsjahre 2005 und 2006 (Prozentangaben bezogen auf die vorhandenen Holzarten; Kiefernholz: 83 % bzw. 81 %, Eichenholz: 16 % bzw. 18 %, andere Holzarten: 1 %)

Organismen	2005			2006		
	Kiefernholz [%]	Eichenholz [%]	andere Holzarten [%]	Kiefernholz [%]	Eichenholz [%]	andere Holzarten [%]
Schädlinge						
<i>Anobium punctatum</i>	50,6	1,4	0,9	58,0	0,9	0,9
<i>Xestobium rufovillosum</i>	0,5	7,8	0,0	0,6	7,9	0,0
<i>Anobium punctatum</i> und <i>Xestobium rufovillosum</i> (gemeinsam)	0,3	1,5	0,0	1,2	2,2	0,0
Natürliche Feinde						
adulte Buntkäfer und deren Larvenstadien, parasitoiden Wespen	6,0	1,0	0,0	5,6	0,7	0,0

In beiden Jahren trat der Gewöhnliche Nagekäfer (*A. punctatum*) fast ausschließlich in Kiefernholz auf (50,6% bzw. 58%), während diese Art selten in Eichenholz auftrat (1,4% bzw. 0,9%). Der Gescheckte Nagekäfer (*X. rufovillosum*) trat insbesondere an Eichenhölzern auf (7,8% bzw. 7,9%). Sein Befallsnachweis an Kiefer ist mit unter 1% geringfügig und wurde nur beobachtet, wenn Nadelhölzer in unmittelbarer konstruktiver Verbindung zum befallenen Eichenholz standen. Das gemeinsame Auftreten beider Schädlingsarten konnte geringfügig sowohl für Kieferholz als auch für Eichenholz festgestellt werden. Dabei war das gemeinsame Vorkommen in Eichenholz häufiger (1,5% bzw. 2,2%) als im Kiefernholz (0,3% bzw. 1,2%). Natürliche Gegenspieler wurden in Kiefer und in Eiche nachgewiesen. Es handelte sich um Imagines der Buntkäfer und deren Larvenstadien sowie Imagines parasitoider Wespen. Für Papierabklebungen auf den anderen Holzarten (Fichte, Esche) beschränkte sich der Nachweis für beide Untersuchungsjahre auf den Gewöhnlichen Nagekäfer.

Mit der Papierabklebung konnte der Nachweis der Mehrfachnutzung von Ausschlupflöchern durch die Imagines des Gescheckten Nagekäfers geführt werden. Dieser Nachweis erfolgte an Papieren, die über zwei Jahre am Holzbauteil ohne Erneuerung verblieben waren. Es konnten an Ausschlupflöchern der ersten Saison, die verschlossen wurden, im Folgejahr erneut an gleicher Stelle Ausschlupflöcher adulter Tiere dieser Spezies registriert werden.

In Auswertung der Papierabklebungen für Kirchenbauwerke (n=17) zeigen sich Befallsschwerpunkte durch den Gewöhnlichen Nagekäfer (*A. punctatum*) an bestimmten Konstruktions- und Ausstattungsgegenständen. Abklebungen erfolgten am Gestühl, dem Altar, der Empore, verschiedenen Einbauten und Konstruktionshölzern des Kirchenschiffs sowie am Dachverbandsholz des Dachstuhls. Für beide Untersuchungsjahre ist an verschiedenen Bauteilen der prozentuale Befall durch den Gewöhnlichen Nagekäfer ähnlich (Tabelle 6).

Tabelle 6: Prozentualer Umfang vom aktiven Befall durch *Anobium punctatum* an verschiedenen Holzbauteilen, nachgewiesen 2005 und 2006 mit Papierabklebungen in Kirchen (n=17)

Bauteil	2005	2006
Fußboden	18 %	24 %
Gestühl	65 %	7 %
Kanzel	12 %	12 %
Altar	0 %	6 %
Einbauteile/Konstruktion	18 %	29 %
Empore	53 %	53 %
Dachstuhl	29 %	29 %

Der stärkste Befall, bezogen auf die untersuchten Bauteile, besteht mit über 50% am Gestühl und den Emporen, während Altar und Kanzel kaum aktiv befallen waren (bis 12%). Fußböden, hölzerne Einbauten und Konstruktionsteile waren in den Kirchenbauwerken zu weniger als 30% befallen. Im Dachstuhl ist die Befallssituation mit 29% ähnlich gering. Die Ergebnisse für das Jahr 2005 wurden bereits publiziert (HAUSTEIN & VON LAAR 2006 b).

3.1.2 Nachweis der Zielarten am Schlupfloch im Papier

Die Schlupflöcher der Zielorganismen in den Papierabklebungen wurden im Rasterelektronenmikroskop untersucht. Es handelt sich um Schlupflöcher von Insekten, die während des Ausschlupfes abgefangen wurden waren. Die Schlupflöcher weisen jeweils spezifische Merkmale auf, die nachfolgend beschrieben werden. Abweichungen traten insbesondere in der Größe des Schlupfloches auf. Sie lagen in der Variabilität der Körpergröße des Tieres, vor allen zwischen den Geschlechtern, begründet. Das zur Auswertung verwendete Papier einschließlich der Tyloseleimschicht hatte im getrockneten Zustand eine Stärke von ungefähr 100 bis 110 μm . Davon waren $\sim 70 \mu\text{m}$ Papierschicht und ~ 30 bis $40 \mu\text{m}$ Leimschicht. Die Schlupflöcher wurden einheitlich bei 30facher Vergrößerung aufgenommen und der Durchmesser ermittelt.

Das für die Abklebung verwendete Papier ist durch eine guten Nassreißfestigkeit gekennzeichnet. Vergleichend wurden Schlupflöcher von feucht und trocken abgelösten Papieren untersucht. Verformungen am Schlupfloch entstanden bei der Ablösung der Papierschicht von der Holzoberfläche am eingesetzten Packpapier nicht.

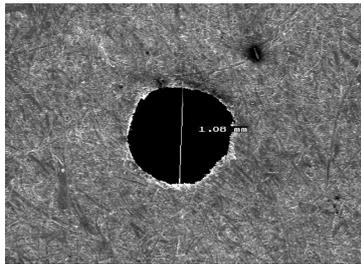


Abbildung 5: Schlupfloch von *Anobium punctatum* im Papier bei 30facher Vergrößerung, Durchmesser: 1,08 mm

***Anobium punctatum* (Imago)**

Die Schlupflochgröße im Papier variierte von ca. 0,8 bis 1,5 mm im Durchmesser, im selteneren Fall bis 2,0 mm. Es handelt sich um eine weitgehend kreisrunde Form. Der Schlupflochrand war meist scharfkantig und weniger ausgefranst. Die Papierfasern wurden häufig sorgfältig durchnagt, ähnlich dem Schnitt mit einem scharfen Messer (Abbildung 5).

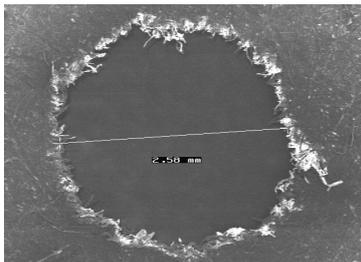


Abbildung 6: Schlupfloch von *Xestobium rufivillosum* im Papier bei 30facher Vergrößerung, Durchmesser: 2,58 mm

***Xestobium rufivillosum* (Imago)**

Das erzeugte Schlupfloch besitzt entsprechend der Größe des Insekts einen Durchmesser von ca. 2 bis 3 mm. Die Form ist kreisrund. Der Randbereich ist nur leicht ausgefranst (Abbildung 6).

***Ptilinus pectinicornis* (Imago)**

Die Schlupflochgröße lag meist zwischen 1,0 und 1,5 mm. Das Schlupfloch ist kreisrund und unterscheidet sich nur unwesentlich von *Anobium punctatum*. Der Randbereich ist leicht ausgefranst (Abbildung 7).

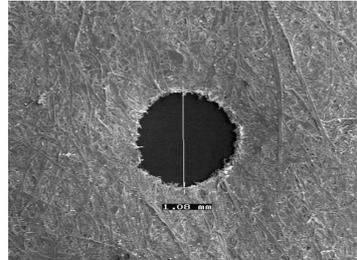


Abbildung 7: Schlupfloch von *Ptilinus pectinicornis* im Papier bei 30facher Vergrößerung, Durchmesser: 1,08 mm

***Korynetes caeruleus* (Imago)**

Die Schlupflochgröße ist mit einem Durchmesser von 1,5 bis 2,0 mm leicht größer als bei *Anobium punctatum*. Es ist überwiegend kreisrund. Der Rand ist deutlich wulstig. Die Papierfasern werden ähnlich einem Krater rand aufgeworfen und erzeugen eine fransige Struktur (Abbildung 8).

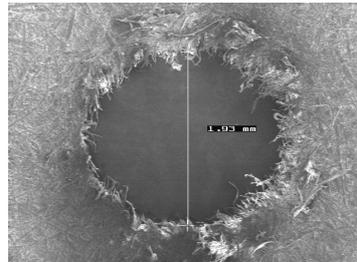


Abbildung 8: Schlupfloch von *Korynetes caeruleus* im Papier bei 30facher Vergrößerung, Durchmesser: 1,93 mm

***Opilo mollis* (Imago)**

Das Schlupfloch ist oval. Es wirkt wie in das Papier hineingerissen. Die Längsseite liegt bei über 3 mm und kann auch eine Länge bis 4,5 mm erreichen. Die Schmalseite ist ungefähr 2,5 mm breit. Der Papierrand ist stark ausgefranst und die Fasern sind aus dem Verbund herausgelöst. Sie sind unregelmäßig als Büschel oder als Einzelfaser vorhanden (Abbildung 9).

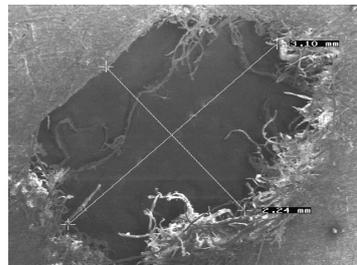


Abbildung 9: Schlupfloch von *Opilo mollis* im Papier bei 30facher Vergrößerung, Länge: 3,10 mm, Breite: 2,24 mm

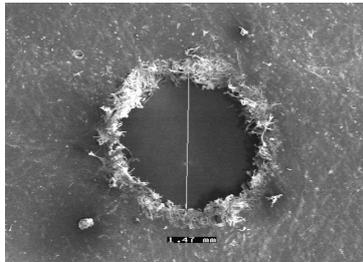


Abbildung 10: Schluflloch von *Tillus elongatus* im Papier bei 30fach Vergrößerung, Durchmesser: 1,47 mm

***Tillus elongatus* (Imago)**

Die Schlufllochgröße des schlanken Insekts liegt bei ungefähr 1,3 bis 1,6 mm im Durchmesser. Das Schluflloch ist kreisrund. Der Rand ist stärker fransig, aber nur wenig wulstig (Abbildung 10).

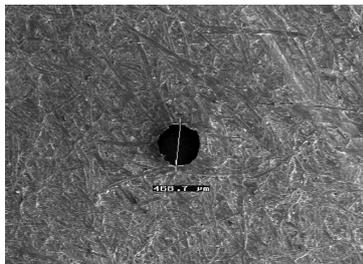


Abbildung 11: Schluflloch der Brackwespe *Hecabolus sulcatus* im Papier bei 30facher Vergrößerung, Durchmesser: 0,47 mm

Parasitoide Wespe (Imago)

Die Schluflöcher sind mit etwa 0,5 mm im Durchmesser mit Nadelstichen zu vergleichen. Der Rand ist glatt und nicht ausgefranst (Abbildung 11).

Buntkäferlarven

Das Fraßloch der Larven entspricht in etwa der Körperform. Diese ist im Querschnitt \pm rund bis etwas abgeplattet. Je nach Larvenstadium war das Fraßloch bis ca. 1 mm lang und ungefähr 0,3 bis 0,7 mm breit (Abbildung 12). Der Rand ist leicht ausgefranst. Eine Unterscheidung in der Art ist nicht möglich. Durch die schlankere Form von *Tillus elongatus* sind die Fraßlöcher dieser Art im Vergleich zu den anderen Buntkäferarten häufig schmaler.

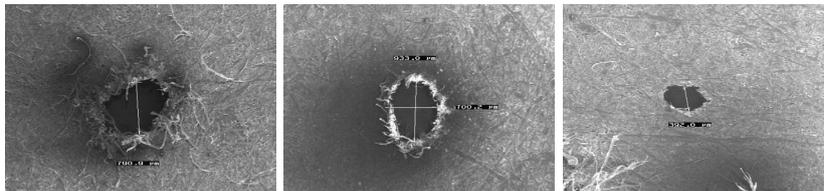


Abbildung 12: Fraßlöcher von Buntkäferlarven bei jeweils 30facher Vergrößerung. links: *Korynetes caeruleus*, Durchmesser: 0,79 mm; Mitte: *Opilo domesticus*, Durchmesser: 0,7 mm; rechts: *Tillus elongatus*, Durchmesser: 0,39 mm

Für einige Arten wurden die Ergebnisse bereits publiziert (HAUSTEIN et al. 2007 b).

3.1.3 Klebefallen

Im Nachfolgenden werden die in den Bauwerken mittels ausgebrachten Klebefallen gefangenen Zielorganismen und Beifänge (Nicht-Ziel-Arthropoden) dargestellt. Im Vergleich zur Methode der Papierabklebung hatte sich das Artenspektrum stark erhöht.

Fangzahlen

Auf den im Zeitraum April bis Oktober 2005 eingesetzten Klebefallen ($n = 81$, $A = 9,32 \text{ m}^2$) wurden insgesamt 2.427 Individuen gefangen. Die Fallen waren ohne besondere Schutzvorkehrungen horizontal im Bauwerk ausgelegt. Imagines der Nagekäfer- und Buntkäferarten wurden mit den ausgelegten Klebepappen bis August 2005 nachgewiesen. Nach diesem Zeitpunkt wurden nur noch Larven des Blauen Felikäfers (*Korynetes caeruleus*) und Nicht-Ziel-Arthropoden gefangen.

Im Folgejahr 2006 wurden die eingesetzten Klebefallen ($n = 170$, $A = 8,63 \text{ m}^2$) ausschließlich in geschützter Form durch Umhüllung mit Maschendrahtgewebe oder Folie verwendet. Die Gesamtanzahl gefangener Individuen im Zeitraum April bis August 2006 betrug 1.331 Exemplare.

Der Fallenfang wurde nach Zielorganismen (Nage- und Buntkäfer) und in Beifänge sortiert. Die Beifänge wurden in die Ordnungen der Käfer (Coleoptera), der Hautflügler (Hymenoptera), Zweiflügler (Diptera) und sonstige Gliederfüßer (Arthropoda) unterschieden. Dabei dominierten innerhalb der Zweiflügler die Fliegen (Brachycera). Die sonstigen Gliederfüßer umfassten überwiegend Asseln (Isopoda), Tausendfüßler (Myriapoda), Spinnentiere (Arachnida). Gefangene parasitoide Wespen wurden innerhalb der Hymenopteren gesondert ausgezählt. Sie wurden unter der Bezeichnung Schlupf- und Gallwespen (Terebrantes) extra geführt.

Tabelle 7 nennt den Prozentsatz der in beiden Untersuchungsjahren mit allen Klebefallen in den Bauwerken (2005: $n = 23$, 2006: $n = 21$) gefangenen Individuen. Mittels Netzgrafik werden beide Jahre im Vergleich dargestellt (Abbildung 13).

Tabelle 7: Prozentualer Anteil des mit Klebefallen (2005: $A = 9,32 \text{ m}^2$, 2006: $A = 8,63 \text{ m}^2$) gefangenen Arthropodenspektrums (2.427 Individuen von April bis Oktober 2005, 1.331 Individuen von April bis August 2006)

Arthropodentyp	Klebefallenfang [%] 2005	Klebefallenfang [%] 2006
Anobiidae	11	21
Cleridae	3	7
Terebrantes	7	17
sonstige Coleoptera	4	7
sonstige Hymenoptera	1	4
Diptera	34	11
sonstige Arthropoden	40	33

Der Anteil gefangener Nicht-Ziel-Arthropoden war stets höher, als der der Zielorganismen. Es wurden von den insgesamt gefangenen Tieren 89 % (2005) bzw. 79 % (2006) Arthropoden gefangen, die keine Nagekäfer sind. Der Anteil prädatorischer Buntkäfer im Imaginal- und Larvenstadium betrug 3 % (2005) bzw. 7 % (2006), während Schlupf- und Gallwespen mit 7 % (2005) bzw. 17 % (2006) am Gesamtfang beteiligt waren. Die Anzahl gefangener Buntkäfer und parasitoider Wespen erhöhte sich zu den Nagekäfern im ungefähr gleichen Verhältnis (Abbildung 13).

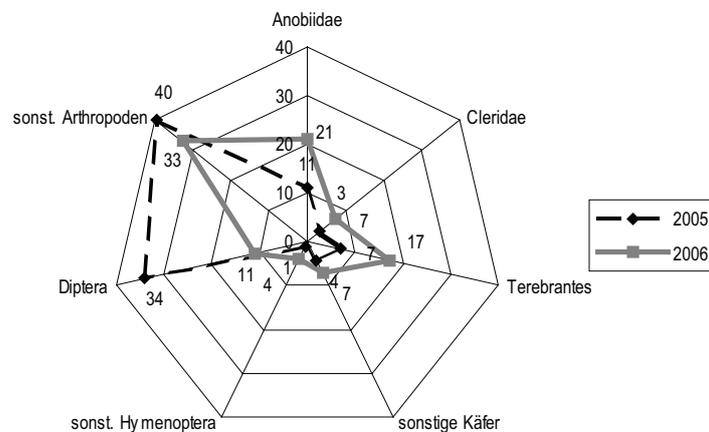


Abbildung 13: Vergleich der in den Gebäuden mit Klebefallen gefangenen Arthropoden, in 2005 ohne Schutzmaßnahmen und in 2006 mit Schutzmaßnahmen (Maschendraht- oder Folienumhüllung) an den Fallen

Durch den Einsatz von Schutzmaßnahmen wurde die Anzahl gefangener Zweiflügler (Diptera) von 34 % (2005) auf 11 % (2006) stark gesenkt, obwohl das erste Untersuchungsjahr einen verlängerten Erfassungszeitraum von 2 Monaten umfasste. Der hohe Anteil an Zweiflüglern, insbesondere Fliegen, war durch den unerwünschten Beifang von Wirbeltieren im ersten Untersuchungsjahr entstanden. Im zweiten Untersuchungsjahr wurden keine Wirbeltiere gefangen. Der Anteil an Zweiflüglern konnte im Vergleich zum Vorjahr auf $\sim 1/3$ vom Gesamtfang dieser Ordnung reduziert werden. Die Anzahl gefangener sonstiger Gliederfüßer (Arthropoda) blieb mit 40 % (2005) bzw. 33 % (2006) unverändert hoch. Die absoluten Zahlen der gefangenen Individuen und deren Verteilung sind für die Untersuchungsjahre 2005 und 2006 im Anhang enthalten (Tabelle 48 und 49).

Entsprechend der Präferenz des Gewöhnlichen Nagekäfers (*A. punctatum*) in den untersuchten Bauwerken konnte diese Nagekäferart in beiden Jahren überwiegend durch Klebefallenfang nachgewiesen werden. Deren Anteil an den Anobiiden betrug im ersten Untersuchungsjahr 79 % (n = 213) und im zweiten Jahr 80 % (n = 223). Der Gescheckte Nagekäfer (*X. rufovillosum*) wurde in beiden Jahren mit gleicher Anzahl an Imagines (n = 57) mit der Klebefalle gefangen.

Im Jahr 2006 wurden Klebefallen im Gebäude zusätzlich zur horizontalen Anordnung ($A = 6,44 \text{ m}^2$) auch vertikal ($A = 2,19 \text{ m}^2$) als Klebestreifen aufgehängt (Tabelle 8). Mit den horizontal ausgelegten Falle wurden insgesamt 1.026 und mit der hängenden Variante 305 Individuen gefangen. Der prozentuale Anteil gefangener Nagekäfer war für beide Anordnungen ähnlich, obwohl mit den vertikalen Klebefallen nur fliegende Insekten gefangen wurden. Der Buntkäferfang war bei der hängenden Anordnung wesentlich geringer als bei einer horizontalen Platzierung der Falle. Von den Nicht-Ziel-Arthropoden wurden überwiegend Zweiflügler (Diptera) und Hautflügler (Hymenoptera) mit den aufgehängten Klebestreifen gefangen, während die anderen Gliederfüßer, z. B. Spinnentiere und Asseln, bei einer horizontalen Fallenanordnung den dominierenden Anteil am Beifang ausmachten.

Tabelle 8: Vergleich des Prozentsatzes der insgesamt in den Gebäuden ($n = 21$) mit horizontal ausgelegten und vertikal aufgehängten Klebepappen gefangenen Arthropoden von April bis August 2006

Arthropodentyp	horizontal ausgelegte Klebepappen [%]	vertikal aufgehängte Klebepappen [%]
Anobiidae	22	20
Cleridae	8	2
Hymenoptera	19	25
andere Coleoptera	7	6
Diptera	5	29
andere Arthropoden	39	18

Wie aus Tabelle 8 ersichtlich wurden mit Ausnahme der Zweiflügler bei liegender Anordnung der Fallen im Bauwerk mehr Individuen als bei hängender Anordnung gefangen. Bei der vertikalen, hängenden Anordnung wurden rund 1/3 weniger Tiere als bei horizontaler Anordnung gefangen (305 : 1.026). Tabelle 49 im Anhang gibt für das Untersuchungs-jahr 2006 die Anzahl und Verteilung der einzelnen Fänge in den Gebäuden sortiert nach horizontaler und vertikaler Anordnung der Klebefallen wieder.

Den Einfluss der Farbigkeit auf den Fang von Individuen bei verschiedener Anordnung der Klebepappen ist in Tabelle 9 dargestellt. In den Untersuchungsgebäuden wurden horizontal ausgelegte Klebepappen in der Farbe weiß ($A = 2,38 \text{ m}^2$) und mehrfarbig bunt ($A = 4,06 \text{ m}^2$) eingesetzt. Zusätzlich wurden im Gebäude Klebepappen nebeneinander vertikal aufgehängt. Dazu wurden ebenfalls weiße ($A = 0,55 \text{ m}^2$) und mehrfarbig bunte ($A = 1,64 \text{ m}^2$) Klebepappen verwendet.

Tabelle 9: Vergleich der Anzahl gefangener Arthropoden in den untersuchten Gebäuden (n=21) bei horizontaler und vertikaler Anordnung, sortiert nach mehrfarbigen und weißen Klebepappen von April bis August 2006 (in Klammern sind die Prozentsätze am Gesamtumfang angegeben)

Arthropodentyp	n horizontal ausgelegte Klebepappe, mehrfarbig	n horizontal ausgelegte Klebepappe, weiß	n vertikal aufgehängte Klebepappe, mehrfarbig	n vertikal aufgehängte Klebepappe, weiß	Überschreitungswahrscheinlichkeit p
Anobiidae	190 (26)	28 (10)	37 (16)	25 (32)	< 0,0001
Cleridae	71 (10)	13 (4)	7 (3)	0 (0)	0,5875
Hymenoptera	169 (23)	31 (11)	50 (22)	26 (32)	< 0,0001
andere Coleoptera	27 (4)	48 (16)	16 (7)	3 (4)	< 0,0001
Diptera	37 (5)	19 (6)	79 (36)	8 (10)	< 0,0001
andere Arthropoden	238 (32)	155 (53)	37 (16)	17 (22)	0,2980

Tabelle 9 zeigt, dass mit der vertikal angeordneten Klebefallen im Farbton Weiß prozentual die meisten Nagekäfer (Anobiidae) gefangen wurden. Hautflügler (Hymenoptera) wurden im fast gleicher Anzahl wie die Nagekäfer erfasst. Buntkäfer (Cleridae) wurde mit der hängenden Anordnung der Klebepappen nicht gefangen. Diese wurden mit der horizontal ausgelegten mehrfarbigen Klebepappe nachgewiesen, die in großer Anzahl sowohl Imagines als auch Larven der Cleriden fingen. Während von den Nicht-Ziel-Arthropoden die vertikale mehrfarbige Falle die meisten Zweiflügler (Diptera), insbesondere Fliegen fing, wurden mit der weißen, horizontal ausgelegten Falle die anderen Arthropodengruppen prozentual am häufigsten gefangen. Tabelle 50 im Anhang gibt für das Untersuchungs-jahr 2006 die Anzahl und Verteilung der einzelnen Fänge in den Gebäuden sortiert für alle Anordnungen der Klebefalle wieder.

Die Überschreitungswahrscheinlichkeit p des exakten χ^2 -Tests zeigt, dass für die Anobiidae, die Hymenopteren, andere Coleopteren und Dipteren signifikante Unterschiede auf dem Niveau $\alpha=0,05$ zwischen der Anordnung und der Farbigkeit der Klebefalle bestehen. Für die gefangenen Buntkäfer und die anderen Arthropoden hingegen ist kein Zusammenhang zwischen der Anordnung und der Farbigkeit der eingesetzten Klebefallen nachweisbar.

Räuber-Beute-Zahlenverhältnis

Das Räuber-Beute-Verhältnis der mit horizontal ausgelegten Klebefallen gefangenen Bunt- und Nagekäfer betrug für das erste Untersuchungs-jahr (2005) 1 : 3,5 und für das zweite Untersuchungs-jahr (2006) 1 : 3. Es war in beiden Jahren ähnlich. 2005 wurden bei horizontaler Anordnung der Falle 270 Nagekäfer (78%) und 75 Buntkäfer (22%) gefangen. Von den Buntkäfern wurde mit den Klebefallen 2005 fast ausschließlich der Blaue Fellkäfer mit Imagines (n=48) und Larven (n=26) arretiert. Der Hausbuntkäfer wurde mit einem adulten Tier nachgewiesen, während der Weiche Buntkäfer im ersten Untersuchungs-jahr auf den ausgelegten Klebepappen nicht vorkam.

Im Untersuchungsjahr 2006 betrug bei gleicher horizontaler Anordnung der Anteil an Nagekäfern 218 Tiere (75%) und an Buntkäfern 84 Tiere (25%). Davon waren 65 Exemplare Imagines des Blauen Fellkäfers und 10 Exemplare Larven dieser Spezies. Der Hausbuntkäfer wurde im Untersuchungsjahr 2006 nur mit einem adulten Tier auf der Klebepappe nachgewiesen, während der Weiche Buntkäfer mit 7 Imagines und einer Larve gefangen wurde. Die Anzahl der insgesamt in jedem Bauwerk gefangenen Individuen der beiden Coleopteren gehen aus Tabelle 49 im Anhang hervor.

Zusammenhang zwischen Papierabklebung und Klebefalle

Es wurde untersucht, ob ein Zusammenhang zwischen der Anwendung der beiden Monitoringmethoden in der Befallsdiagnose besteht (Tabelle 51 im Anhang). Um zu überprüfen, ob ein statistischer Zusammenhang zwischen dem Nachweis mittels Papierabklebungen und dem Fang mit Klebefallen bestand, wurde der SPEARMANSche Rangkorrelationskoeffizient r_s für die Fangzahlen der beiden Nagekäferarten und die Buntkäfer berechnet. Für den Gewöhnlichen Nagekäfer mit $r_s = 0,43042$ ($p = 0,0198$) und den Gescheckten Nagekäfer mit $r_s = 0,61193$ ($p = 0,0004$) bestand ein Zusammenhang auf dem Signifikanzniveau $\alpha = 0,05$. Für die Buntkäfer mit $r_s = 0,35879$ ($p = 0,0560$) ist kein statistischer Zusammenhang auf diesem Niveau nachweisbar.

3.1.4 Aufsammlungen

Die Aufsammlung diente dem Nachweis von Buntkäfern. Mit der Aufsammlungsmethode konnten die Zielorganismen Blauer Fellkäfer (*K. caeruleus*), Hausbuntkäfer (*O. domesticus*) und Weicher Buntkäfer (*O. mollis*) im Gebäude nachgewiesen werden, wobei adulte Tiere und deren Larvenstadien aufgesammelt wurden. Der Schwarzflügelige Holzbuntkäfer (*T. elongatus*) konnte durch Aufsammlung im Bauwerk nicht nachgewiesen werden. Er wurde aus entnommenen Bauteilen der Holzart Rotbuche (*Fagus sylvatica*) gezüchtet.

Die in den Bauwerken dominierende Buntkäferart war der Blaue Fellkäfer. Er wurde in 23 von insgesamt 27 Untersuchungsgebäuden aufgesammelt (Tabelle 52 im Anhang) und zusätzlich aus Bauwerksproben gezüchtet (Tabelle 53 im Anhang). Damit wurde diese Spezies in 85% der untersuchten Bauwerke durch Aufsammlung nachgewiesen. Im Zeitraum 2005 bis 2008 konnten insgesamt 423 Imagines und 113 Larven des Blauen Fellkäfers von Mai bis Juli erfasst werden. Im Zeitraum 2005 bis 2006 waren es 279 Imagines und 30 Larven.

Ein Nachweis der Buntkäfer mittels Aufsammlung erfolgte in Gebäuden mit einem Schädlingsbefall durch den Gewöhnlichen Nagekäfer (*A. punctatum*) und den Gescheckten Nagekäfer (*X. rufovillosum*), bei zuletzt genannter Schädlingsart jedoch in geringerer Individuenzahl. Ein gehäuftes Auftreten adulter Blauer Fellkäfer mit bis zu 88 Tieren/m² konnte von Ende Mai bis Ende Juni 2005 und 2006 in 4 Gebäuden (Nr. 1, 4, 11, 22) mit starkem Befall durch den Gewöhnlichen Nagekäfer festgestellt werden. Die Larven dieser Buntkäferart erschienen ungefähr vier Wochen vor dem Schlupf der adulten Tiere in größerer Anzahl auf der Holzoberfläche. In 2008 konnten am 26. April 2008 und 01. Mai 2008 insgesamt je 24 Larven in

Gebäude-Nr. 1 durch Aufsammlung nachgewiesen werden. Im Vorjahreszeitraum waren es im gleichen Gebäude 26 Larven (17 Larven am 29. April 2007 und 9 Larven am 01. Mai 2007). Der Weiche Buntkäfer konnte nur in 5 Gebäuden (Nr. 7, 8, 9, 10, 28) durch Aufsammlung nachgewiesen werden (Tabelle 52 im Anhang). Im Zeitraum 2005 bis 2007 wurden 24 Imagines und 2 Larven registriert. Es handelt sich um Gebäude mit einem vorrangigen Befall durch den Gescheckten Nagekäfer. Der Nachweis dieser Buntkäferart in Gebäuden mit einem Befall durch den Gewöhnlichen Nagekäfer war nur mit einem Imago (Nr. 9) und 2 Larven (Nr. 28) möglich. Die adulten Käfer konnten von Anfang April bis Anfang Juni an verdeckten Stellen der Holzkonstruktion, insbesondere im kühlen Fußbodenbereich, aufgesammelt werden, während die Larven im April und im Juli außerhalb des Holzsubstrates festgestellt wurden.

Der Hausbuntkäfer wurde als Imago mit 1 Exemplar Ende Juli 2005 im Bauwerk (Nr. 9) aufgesammelt. Im Larvenstadium wurde diese Art in 3 Gebäuden (Nr. 4, 9, 24) festgestellt. Die Larven wurden von der Holzoberfläche von Mai bis Juni entnommen. Ein Nachweis dieser Spezies war nur in Gebäuden mit nachgewiesenen Befall durch den Gewöhnlichen Nagekäfer möglich. Eine Zusammenstellung der durch Aufsammlung nachgewiesenen und aus Holzproben gezüchteten Buntkäferarten enthalten Tabelle 52 und 53 im Anhang.

Das Beutespektrum der durch Aufsammlung in anobienbefallenen Gebäuden nachgewiesenen Buntkäferarten einschließlich der aus den Holzproben gibt Tabelle 10 wieder. Bei Gebäuden mit einem gleichzeitigen Schädlingsbefall durch den Gewöhnlichen Nagekäfer und den Gescheckten Nagekäfer wurde das Gebäude für jede Art einzeln gezählt. Der Gekämmte Nagekäfer war nur auf entnommene Holzproben aus einem Gebäude (Nr. 30) begrenzt. Die Ergebnisse zum Beutespektrum wurden bereits publiziert (HAUSTEIN & VON LAAR 2008).

Tabelle 10: Nachgewiesene prädatorische Buntkäfer in Bauwerken mit Befall durch Nagekäfer

Buntkäferspezies	Beutespektrum Anobiidae	Anzahl der Bauwerke mit Nachweis
<i>Korynetes caeruleus</i>	<i>Anobium punctatum</i>	21
	<i>Xestobium rufovillosum</i>	8
	<i>Ptilinus pectinicornis</i>	1
<i>Opilo mollis</i>	<i>Xestobium rufovillosum</i>	4
	<i>Anobium punctatum</i>	3
	<i>Ptilinus pectinicornis</i>	1
<i>Opilo domesticus</i>	<i>Anobium punctatum</i>	3
<i>Tillus elongatus</i>	<i>Ptilinus pectinicornis</i>	1

3.1.5 Freilandversuche zur Lebensweise der Buntkäfer

Ausgewählte Feldversuche wurden mit den beiden Buntkäferarten Blauer Fellkäfer und Schwarzflügeliger Holzbuntkäfer durchgeführt.

Blauer Fellkäfer (*Korynetes caeruleus*)

Zur Beurteilung der Fallenfänge wurde im feldnahen Versuch die Flugbereitschaft der Käfer und für den Aktivitätsnachweis sowie den Zuchtansatz die Dauer des Puppenstadiums ermittelt.

Flugbereitschaft

Die Flugbereitschaft der Imago wurde unter Freilandbedingungen bei verschiedenen Lufttemperaturen orientierend untersucht. Es wurde der Käferabflug im Schatten und in der direkten Sonne erfasst (Tabelle 11). Je Abflugversuch wurden 3 Versuchstiere eingesetzt.

Die untere Grenze für den freien Flug der Käfer lag im Schatten oberhalb von 26 °C Lufttemperatur. Bei direkter Besonnung werden die Tiere schnell erwärmt und flogen auch bei niedrigeren Lufttemperaturen.

Tabelle 11: Flugbereitschaft adulter *Korynetes caeruleus* im Freiland mit Versuchstieren (n=3 je Versuch) unter verschiedenen Temperaturbedingungen in besonnten und beschatteten Abflugflächen im Zeitraum 29. Mai bis 21. Juni 2008 (Windgeschwindigkeit 1,8 bis 3,1 m/s)

Anzahl der Versuchstiere n	Abflugfläche im Schatten		Abflugfläche in der Sonne	
	Temperatur [°C]	Anzahl abgeflogener Käfer	Temperatur [°C]	Anzahl abgeflogener Käfer
3	18,5	0	18,5	2
3	20,6	0	19,0	0
3	22,4	0	20,1	1
3	24,5	0	20,6	1
3	26,3	2	24,5	0
3	26,9	2	25,9	1
3	27,5	1	26,3	3

Dauer des Puppenstadiums

An einigen Individuen der Spezies (n=6) wurde die Dauer des Puppenstadiums ohne Vorpuppenruhe bei 20 °C und 50 % relativer Luftfeuchte bestimmt. Die Tiere wurden am 29. April 2007 als Larve aus dem Bauwerk (Nr. 1) entnommen und nicht gefüttert. In Tabelle 12 ist die mittlere Dauer der inaktiven Zeit bis zur fertigen Entwicklung der Imago angegeben. Die Verpuppung erfolgte außerhalb des Holzsubstrates ohne den Anpressdruck einer Puppenkammer. Bei vier von sechs Tieren erfolgte der Beginn der Puppenruhe im Juli 2007. Je ein Tier verpuppte sich Ende Juni bzw. Anfang August. Eine Missbildung war an einem Imago durch abstehende Flügeldecken zu beobachten. Der Käfer war flugunfähig.

Puppen des Blauen Fellkäfers konnten mehrfach im August festgestellt werden. Dazu wurden Hölzer aufgespalten. Der Prädator nutzt die Puppenkammern des Gewöhnlichen Nagekäfers. Die Wandungen der Puppenkammer waren mit einem weißen Sekret ausgekleidet und das Anobienschlupfloch wurde mit Bohrmehl fest verschlossen. Der Verschlusspfropfen war dabei geringfügig über die Holzoberfläche erhöht. Die Untersuchungen zeigten, dass der Käfer als Imago in der Puppenkammer überwintert, um dann im Frühjahr zu schlüpfen.

Tabelle 12: Mittlere Dauer der Puppenruhe von *Korynetes caeruleus* aus der Freilandentnahme und außerhalb des Holzsubstrates bei 20 °C und 50% r. F.

Nummer	Zeitraum	Dauer [Tage]
1	25.06.07-20.07.07	25
2	13.07.07-12.08.07	30
3	19.07.07-16.08.07	28
4	30.07.07-23.08.07	24
5	30.07.07-23.08.07	24
6	09.08.07-01.09.07	23
Mittelwert		25,7
Standardabweichung		2,7

Schwarzflügeliger Holzbuntkäfer (*Tillus elongatus*)

Zur Ermittlung des Schlupfzeitpunktes und der Schlupfdauer wurde die Art aus Rotbuchenholz (*Fagus sylvatica*), das dem Bauwerk entnommen wurde, gezüchtet. Von 2006 bis 2008 schlüpften insgesamt 69 adulte Tiere. Von Holzprobe I ($V = 4,845 \text{ dm}^3$) konnten in 2006 und 2007 jeweils 11 Imagines dieser Art entnommen werden, während in 2008 keine Tiere aus der Probe schlüpften. Aus Holzprobe II ($V = 6,813 \text{ dm}^3$) wurden insgesamt 15 (2007) bzw. 16 (2008) adulte Tiere registriert. Aus Holzprobe III ($V = 3,536 \text{ dm}^3$) schlüpften 16 (2008) Imagines des Schwarzflügeligen Holzbuntkäfers. Die Anzahl der geschlüpften Imagines und das Datum des Schlupfes wird für jede Holzprobe in Tabelle 53 im Anhang wiedergegeben.

Die Imagines sind von Mitte April bis Mitte Juni geschlüpft (Abbildung 14). Die Geschlechterverteilung im Zuchtbehälter betrug für den 3-jährigen Zeitraum männlich zu weiblich 1 : 0,67.

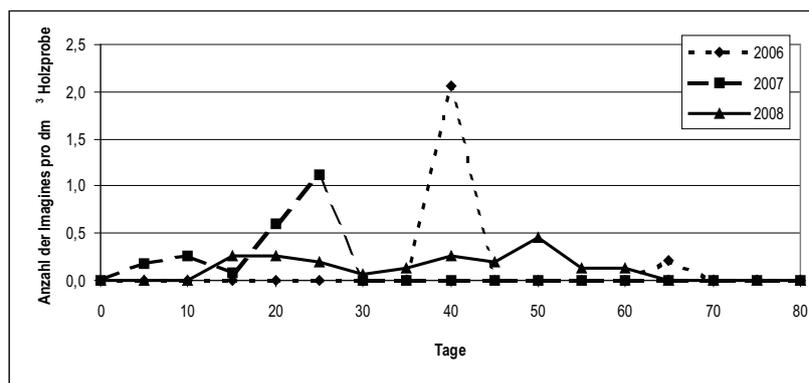


Abbildung 14: Anzahl geschlüpfter adulter *Tillus elongatus* aus Rotbuchenholz bezogen auf 1 dm³ Holzprobe im Dreijahreszeitraum 2006 bis 2008, 0. Tag: 11. April 2006, 2007, 2008

Zusätzlich zu den Imagines der Art wurden an den Holzproben noch 3 Larven des Cleriden sowie zwei weitere Arten der Buntkäfer nachgewiesen. Es handelte sich um den Blauen Fellkäfer (*K. caeruleus*) im Imaginal- (n=10) und Larvenstadium (n=4) sowie den Weichen Buntkäfer (*O. mollis*) mit nur einem Individuum im Larvenstadium.

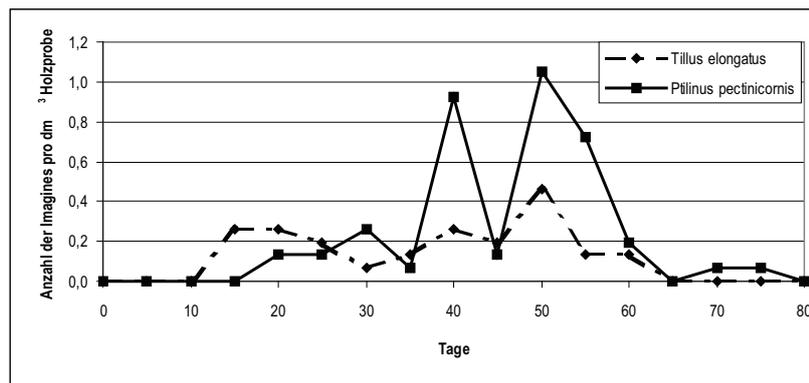


Abbildung 15: Anzahl geschlüpfter adulter *Tillus elongatus* und *Ptilinus pectinicornis* aus Rotbuchenholz bezogen auf 1 dm³ Holzproben in 2008, 0. Tag: 11. April 2008

Als Beute dieser Buntkäferart trat ausschließlich der Gekämmte Nagekäfer (*P. pectinicornis*) auf. Der Schlupfbeginn des Buntkäfers erfolgte 5 Tage vor dem Schlupfbeginn des Nagekäfers (Abbildung 15). Bei der aus dem Holz geschlüpften parasitoiden Wespe handelte es sich um die Spezies *Hecabolus sulcatus* CURTIS, 1834, eine ektoparasitoide Brackwespe (Braconidae).

Zusammenfassend sind für den Zeitraum 2006 bis 2008 die aus den drei Buchenholzproben im Labor geschlüpften adulten Individuen bei täglicher Absammlung zusammenfassend dargestellt (Tabelle 13). Der Gekämmte Nagekäfer ist mit 151 Exemplaren geschlüpft. An natürlichen Feinden sind 145 Tiere geschlüpft. Davon sind 79 Tiere Buntkäfer (*Tillus elongatus*: n = 69, *Korynetes caeruleus*: n = 10) und 66 Tiere parasitoiden Wespen der Spezies *Hecabolus sulcatus*. Unter Berücksichtigung der insgesamt aus den Holzproben geschlüpften Imagines räuberischer Buntkäfer beider Arten (*T. elongatus*, *K. caeruleus*) und des Gekämmten Nagekäfers (*P. pectinicornis*) als Beutetier ergab sich ein Räuber-Beute-Zahlenverhältnis von 1 : 2,2. Bei zusätzlicher Berücksichtigung der parasitoiden Wespen entsteht fast ein Gleichgewicht zwischen dem Schädling und seinen natürlichen Feinden (151 : 145).

Tabelle 13: Anzahl jährlich geschlüpfter adulter Individuen aus Holzproben (*Fagus sylvatica*), bei täglicher Absammlung im Zeitraum 2006 bis 2008, mit Geschlechterverteilung

Spezies	Holzprobe I			Holzprobe II		Holzprobe III	Σ
	2006	2007	2008	2007	2008	2008	
Cleridae, Coleoptera							
<i>Tillus elongatus</i>	11 (10♂, 1♀)	11 (7♂, 4♀)	0	15 (9♂, 6♀)	16 (6♂, 10♀)	16 (9♂, 7♀)	69
<i>Korynetes caeruleus</i>	2	4	2	1	1	0	10
Anobiidae, Coleoptera							
<i>Ptilinus pectinicornis</i>	39 (22♂, 17♀)	39 (15♂, 24♀)	13 (7♂, 6♀)	16 (11♂, 5♀)	33 (15♂, 18♀)	11 (7♂, 4♀)	151
Hymenoptera, Braconidae							
<i>Hecabolus sulcatus</i>	25	6	10	16	4	5	66

Die Geschlechterbestimmung beschränkte sich auf den Schwarzflügeligen Holzbuntkäfer und den Gekämmten Nagekäfer, weil äußerlich sichtbare Geschlechtsmerkmale vorliegen. Beim Holzbuntkäfer ermöglicht die Färbung des Holzschildes (bei den Weibchen hellrot, bei den Männchen schwarz) und beim Gekämmten Nagekäfer die Fühlerform (bei den Weibchen gesägt, bei den Männchen gekämmt) eine exakte Geschlechterunterscheidung. Während beim Schwarzflügeligen Holzbuntkäfer mehr männliche als weibliche Käfer schlüpften (41 : 28), war beim Gekämmten Nagekäfer das Geschlechterverhältnis weitgehend gleich (77 : 74).

3.1.6 Holzfeuchte- und Raumklimamessungen

Holzfeuchten

In den Untersuchungsgebäuden (n = 26) wurde die Holzfeuchte im Bereich aller Papierabklebungen in 2005 (n = 257) und 2006 (n = 302) als Momentanwert zu den einzelnen Ableszeitpunkten oberflächennah gemessen. Die Holzfeuchtemessung umfasste in beiden Untersuchungsjahren den Zeitraum April bis August. Die Tabellen 14 und 15 geben die monatlichen Mittelwerte sortiert nach Bauteilen für April bis August beider Untersuchungsjahre und die Anzahl der Messpunkte an jeder Bauteilgruppe wieder. Signifikante Unterschiede in der Holzfeuchte, bezogen auf die Bauteilgruppen gab es in den Einzelbauwerken insbesondere in der Bauteilgruppe der Fußböden. Es wurde an dieser Bauteilgruppe in 2005 eine Spannweite (Variationsbreite) w in den Untersuchungsgebäuden zwischen gemessener maximaler und minimaler Holzfeuchte von w = 9,4 (Juli 2005) ermittelt, während diese am Gestühl w = 4,7 (August 2005), an der Kanzel w = 2,6 (Juli 2005), am Altar w = 6,1 (April 2005), an Einbauten/ Konstruktionsteilen w = 8,6 (Mai 2005), an Emporen w = 3,9 (Mai 2005) und an Dachstühlen w = 6,3 (April 2005) betragen.

Tabelle 14: Monatsmittelwerte der Holzfeuchte [%] in 2005 für verschiedene Bauteilgruppen, gemessen an der Bauteiloberfläche in den Untersuchungsgebäuden (n = 26) im Bereich der Papierabklebungen

Bauteilgruppe	Anzahl der Messpunkte	Monatsmittelwerte der Holzfeuchte [%]				
		April	Mai	Juni	Juli	August
Fußboden	5	19,1	17,5	17,4	18,3	17,3
Gestühl	73	17,7	16,1	16,2	16,5	16,0
Kanzel	3	14,2	14,6	14,7	15,2	14,7
Altar	5	15,1	15,1	14,3	15,1	14,9
Einbauten/Konstruktion	93	17,9	16,8	16,1	17,4	16,7
Empore	36	17,5	15,9	15,6	16,0	15,4
Dachstuhl	42	17,6	16,9	15,6	17,6	16,1

Tabelle 15: Monatsmittelwerte der Holzfeuchte [%] in 2006 für verschiedene Bauteilgruppen, gemessen an der Bauteiloberfläche in den Untersuchungsgebäuden (n = 25) im Bereich der Papierabklebungen

Bauteilgruppe	Anzahl der Messpunkte	Monatsmittelwerte der Holzfeuchte [%]				
		April	Mai	Juni	Juli	August
Fußboden	8	29,6	21,2	17,5	18,1	17,0
Gestühl	85	25,7	18,1	16,5	16,8	16,0
Kanzel	3	-	16,1	14,6	15,7	14,4
Altar	11	20,6	17,1	14,7	14,5	14,7
Einbauten/Konstruktion	108	24,0	19,8	18,0	16,8	16,3
Empore	49	29,1	17,6	16,1	15,5	15,1
Dachstuhl	38	32,8	18,4	19,2	16,5	16,3

Im Vergleich beider Jahre unterschieden sich die Holzfeuchten für den Monat April signifikant. Während in 2006 kondensationsbedingte Holzfeuchten zum Frühlingsbeginn über 20 % gemessen wurden, blieben die Holzfeuchtwerte in 2005 unterhalb der 20 %-Grenze. Für die Monate Mai bis August sind die Holzfeuchten beider Jahre ähnlich. Altar und Kanzel wiesen in 2005 und 2006 die jeweils geringsten, der Fußboden die höchsten Holzfeuchten auf. Die Abbildungen 44 und 45 der Anlage geben als Liniengrafik die Monatsmittelwerte der Holzfeuchte für alle Bauteilgruppen (n = 7) wieder.

In 2005 lagen die Monatsmittelwerte der Holzfeuchten für alle Bauteilgruppen zwischen ca. 14 bis 19 %. Der höchste bzw. niedrigste Mittelwert wurde jeweils im April 2005 mit 19,1 % am Holzfußboden bzw. 14,2 % an der Kanzel ermittelt. In 2006 wurde der höchste Mittelwert der Holzfeuchte im April am Dachstuhl (32,8 %) und der niedrigste Mittelwert im August an der Kanzel (14,4 %) registriert.

Raumklima

In 6 Untersuchungsgebäuden wurde für die Dauer von einem Jahr vom 01. März 2006 bis zum 28. Februar 2007 das Raumklima erfasst. Es handelte sich um 4 Fachwerkgebäude (Nr. 1, 8, 10, 24) und 2 Massivgebäude (Nr. 22, 28) aus Feld- bzw. Backstein, die ohne Beheizung waren. Ein aktiver Befall durch den Gewöhnlichen Nagekäfer (*A. punctatum*) trat in den Gebäuden 1, 22, 24 und 28 auf, während die Gebäude 8 und 10 durch den Gescheckten Nagekäfer (*X. rufovillosum*) befallen waren. Tabelle 16 umfasst die gemessenen Maximum- (Max.) und Minimumwerte (Min.), den Mittelwert, die Standardabweichung (StAbw.), die Spannweite (w) und die Anzahl der Messwerte (n). Die höchste Raumlufttemperatur wurde im Juli 2006 mit 29,4 °C (Nr. 24) und die niedrigste Raumlufttemperatur im Februar 2006 mit -8,1 °C (Nr. 8) gemessen. Eine Sättigung der Raumluftfeuchte wurde mehrfach in 2 Fachwerkgebäuden von Freilichtmuseen (Nr. 8, 24) während der Winterperiode (November bis März) erreicht. Die niedrigste Luftfeuchte wurde im Mai 2006 mit 31 % (Nr. 24) ebenfalls im Fachwerkgebäude gemessen. Die Schwankungsbreite der Temperatur ist im Fachwerkgebäude wesentlich ausgeprägter als im Steingebäude. Der Mittelwert der relativen Luftfeuchte sank in keinem der 6 Untersuchungsgebäude unter die 70%-Grenze.

Tabelle 16: Statistische Analyse der Absolutwerte der relativen Luftfeuchte (r.F.) und Temperatur (Θ) in 6 Untersuchungsgebäuden im Zeitraum vom 01. März 2006 bis 28. Februar 2007

Gebäude-Nr.	1		8		10		22		24		28	
	Temperatur (Θ) in °C und relative Luftfeuchte (r.F.) in %											
	Θ	r.F.	Θ	r.F.	Θ	r.F.	Θ	r.F.	Θ	r.F.	Θ	r.F.
Max.	26,9	93,0	27,1	100,0	25,9	97,0	25,2	96,5	29,4	100,0	21,3	97,0
Min.	-6,7	47,5	-8,1	37,0	-2,0	40,0	-1,0	44,0	-5,7	31,0	-1,3	71,5
Mittelwert	11,6	75,9	10,9	81,8	13,3	70,4	11,2	80,8	11,4	76,0	11,0	85,3
Statistische Parameter												
StAbw.	7,2	9,0	6,9	10,8	6,6	8,3	6,5	9,9	7,1	11,4	5,8	4,0
w	33,6	45,5	35,2	63,0	27,9	57,0	26,2	52,5	35,1	69,0	22,6	25,5
n	8759	8759	8758	8758	8758	8758	8758	8758	8758	8758	8758	8758

Die einzelnen Liniendiagramme der Raumlufttemperatur und -feuchte im Zeitraum 01. März 2006 bis 28. Februar 2008 sind für jedes der 6 Untersuchungsgebäude als Abbildungen 46 bis 51 im Anhang enthalten.

Der Käferschlupf begann im April mit dem Gescheckten Nagekäfer (*X. rufovillosum*) und seinem Gegenspieler dem Weichen Buntkäfer (*O. mollis*). Ab Mitte April wurden erste Schlupflöcher der Imagines festgestellt. Zu diesem Zeitpunkt (2006) war eine mittlere Raumtemperatur von 9,5 °C erreicht, die oberhalb des Monatsmittelwertes von 8,3 °C lag. Der Hauptschlupf beider Arten erfolgte bei einem Temperaturanstieg auf 12 °C (Abbildung 16).

Die im Bauwerk gemessenen mittleren Raumlufttemperaturen für den Zeitraum März bis August 2006 sind in Tabelle 17 dargestellt.

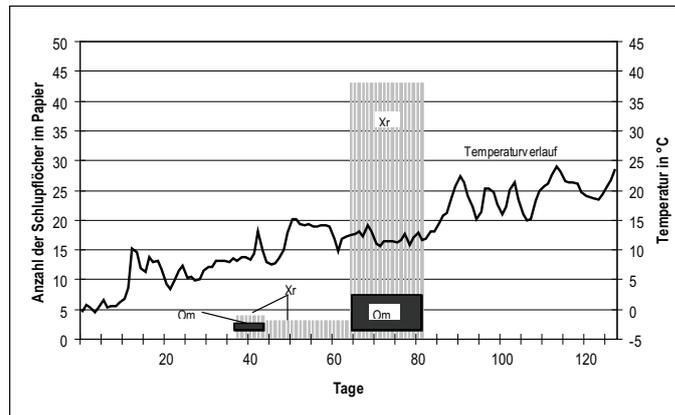


Abbildung 16: Schlupf adulter *Xestobium rufillosum* und *Opilo mollis* in Abhängigkeit von der Lufttemperatur, nachgewiesen mit Papierabklebungen von 15. März bis 20. Juli 2006 im Untersuchungsgebäude 8 (Xr = *X. rufillosum*, Om = *O. mollis*)

Der Blaue Fellkäfer (*K. caeruleus*) schlüpfte ab Mai bei einer im Bauwerk vorherrschenden mittleren Monatstemperatur von 13,3 °C. Der Schlupf des Gewöhnlichen Nagekäfers (*A. punctatum*) erfolgt ab Juni mit einer mittleren Raumtemperatur von 17 °C und erreicht seinen Höhepunkt im Juli bei 22 °C.

Tabelle 17: Mittlere monatliche Raumlufttemperaturen in 6 Untersuchungsgebäuden während der Schlupfperiode 2006 und nachgewiesene Zielarten als Räuber-Beute-Beziehung

(Ap = *Anobium punctatum*, Xr = *Xestobium rufillosum*, Kc = *Korynetes caeruleus*, Om = *Opilo mollis*, Od = *Opilo domesticus*)

Geb.-Nr.	mittlere Raumlufttemperatur [°C]						nachgewiesene Zielarten (Räuber-Beute)
	März	April	Mai	Juni	Juli	August	
1	1,1	8,4	13,6	17,8	23,1	18,7	Kc - Ap
8	0,8	7,4	12,6	16,7	21,5	18,0	Om, Kc - Xr
10	2,9	11,4	15,6	18,7	22,9	20,5	Om, Kc - Xr
22	1,4	8,2	13,0	16,7	21,7	18,1	Kc - Ap
24	1,0	7,8	13,3	17,4	23,2	18,3	Kc, Od - Ap
28	1,4	6,8	11,5	14,8	19,4	18,5	Kc, Om - Ap
Mittelwert	1,4	8,3	13,3	17,0	22,0	18,7	-
StAbw.	0,8	1,6	1,4	1,3	1,5	0,9	-

3.2 Laborversuche mit Buntkäfern

3.2.1 Anzuchtversuche mit Buntkäfern

Versuche mit Larven

Larven der Buntkäfer ($n = 15$) wurden mit lebenden Tabakkäferlarven (*Lasioderma serricorne*) gefüttert. Die Fütterungsversuche zeigten, dass die Tabakkäferlarven vom Blauen Fellkäfer (*Korynetes caeruleus*), Hausbuntkäfer (*Opilo domesticus*), Weichen Buntkäfer (*Opilo mollis*) und Schwarzflügeligen Holzbuntkäfer (*Tillus elongatus*) angenommen und konsumiert wurden.

Die Abbildungen 17 bis 19 zeigen für 15 Versuchstiere deren Entwicklungsverlauf (Buntkäferlarve 1 bis 15). Häutungen der Buntkäferlarven wurden mit \circ markiert. Ein Gewichtsverlust der Tiere, die bei 65–70% relativer Luftfeuchte in Dunkelheit gehalten werden, konnte bei einem Feuchteabfall auf 40% r. F. festgestellt werden. Der Feuchteabfall war durch einen technischen Defekt der Klimazelle entstanden.

Nur eine Larve entwickelte sich zum vollständigen Käfer. Es handelte sich um den Hausbuntkäfer (Larve Nr. 5). Die Larve häutete sich zweimal. Die anderen Zuchtlarven entwickelten sich im Zeitraum ab 2006 bis 2008 nicht zum geschlechtsreifen, erwachsenen Käfer. Die natürliche Larvenmortalität beim Zuchtversuch betrug 29%. Ein Test auf eine Protozoeninfektion ergab für die Zucht keinen Nachweis einzelliger tierischer Parasiten.

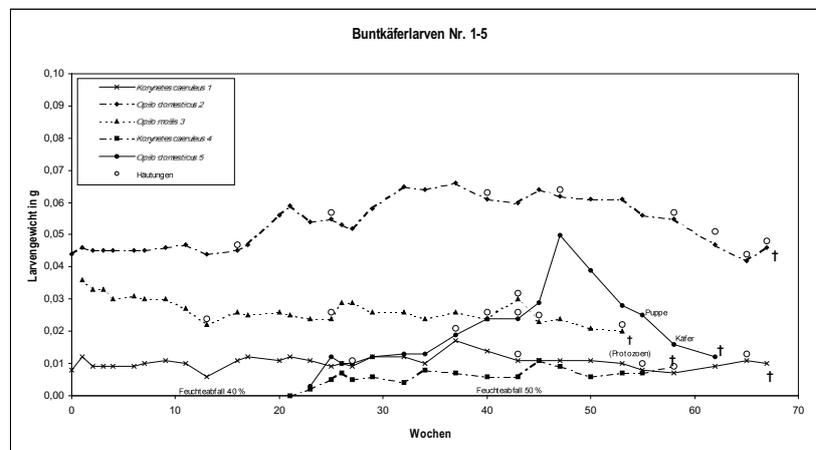


Abbildung 17: Entwicklung von Buntkäferlarven der Arten *Korynetes caeruleus*, *Opilo domesticus* und *Opilo mollis* bei reichlichem Futterangebot von der 1. Wiegung am 18. August 2006 (Woche 0) bis zum 6. Dezember 2008 (Woche 67)

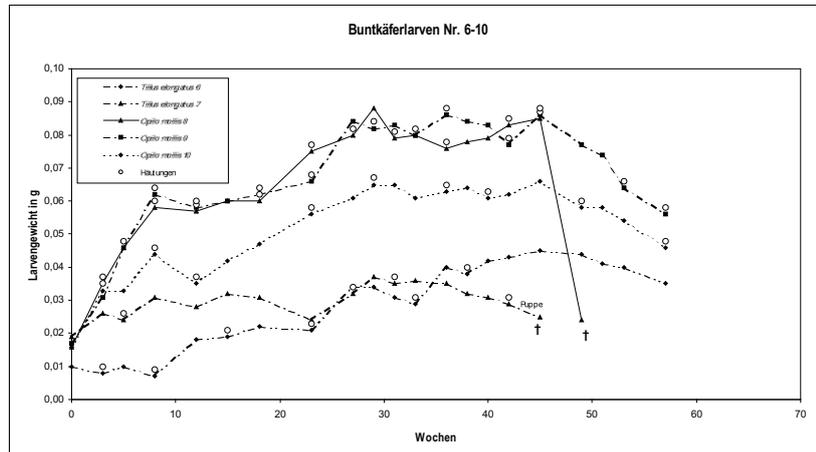


Abbildung 18: Entwicklung von Buntkäferlarven der Arten *Opilo mollis* und *Tillus elongatus* bei reichlichem Futterangebot von der 1. Wiegung am 3. August 2007 (Woche 0) bis zum 4. September 2008 (Woche 57)

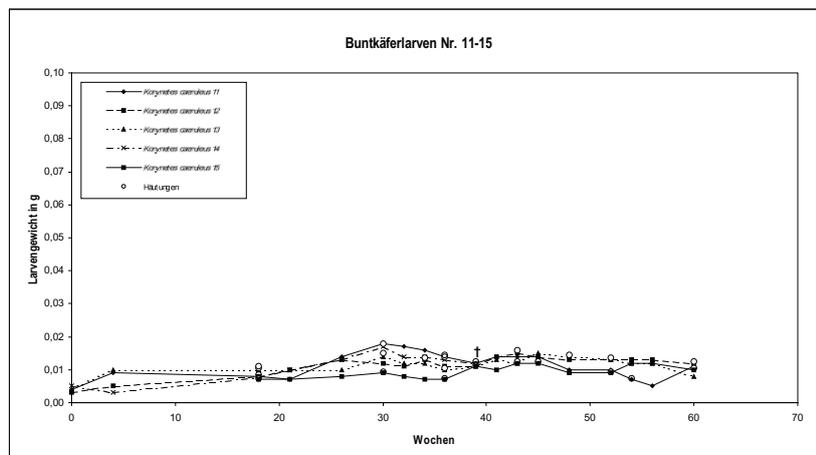


Abbildung 19: Entwicklung von Buntkäferlarven der Art *Korynetes caeruleus* bei reichlichem Futterangebot von der 1. Wiegung am 21. Juli 2007 (Woche 0) bis zum 4. September 2008 (Woche 60)

Die Gewichtszunahme der Larven innerhalb des Zuchtzeitraumes war unterschiedlich. Während sie für den Blauen Felikäfer weitgehend konstant blieb, wurde beim Schwarzflügeligen Holzbuntkäfer eine geringe und beim Weichen Buntkäfer eine deutliche Zunahme verzeichnet. Für den Hausbuntkäfer war vor Beginn der Puppenruhe eine starke Gewichtszunahme erkennbar.

Tabelle 18 gibt die Lebensdauer der Buntkäferlarven, die Anzahl der Häutungen und deren Entwicklungsstand im Fütterungszeitraum wieder. Die Auswertung wurde auf den Stichtag 04. September 2008 begrenzt. Da die Larven aus der Bauwerksentnahme stammten, war das Larvenstadium nicht bekannt.

Tabelle 18: Lebensdauer und Anzahl der Häutungen von 15 Buntkäferlarven verschiedener Arten bei reichlichem Futterangebot an Tabakkäferlarven (Kc = *Korynetes caeruleus*, Od = *Opilo domesticus*, Om = *Opilo mollis*, Te = *Tillus elongatus*)

Larven-Nr.	Art	Fütterungsdauer		Anzahl der Häutungen	Entwicklungsstand
		Zeitraum	Wochen		
1	Kc	14.07.06-10.01.08	78	5	verstorben
4	Kc	22.01.07-26.10.07	40	0	verstorben
11	Kc	22.01.07-04.09.08	41	4	Larve
12	Kc	22.11.07-04.09.08	41	4	Larve
13	Kc	22.11.07-04.09.08	41	6	Larve
14	Kc	22.11.07-24.04.08	22	3	verstorben
15	Kc	22.11.07-04.09.08	41	6	Larve
2	Od	14.07.06-10.01.08	78	8	verstorben
5	Od	22.01.07-16.11.07	43	2	Entwicklung zum Käfer
3	Om	22.08.06-30.08.07	53	6	getötet für Protozoentest
8	Om	20.07.07-10.07.08	51	10	verstorben
9	Om	20.07.07-04.09.08	59	12	Larve
10	Om	20.07.07-04.09.08	59	9	Larve
6	Te	20.07.07-04.09.08	59	6	Larve
7	Te	20.07.07-12.06.08	47	4	in Verpuppung verstorben

Es ist erkennbar, dass eine Häutung etwa im Abstand von sechs bis zehn Wochen stattfand. Dabei häutete sich der Weiße Buntkäfer am häufigsten und der Blaue Fellkäfer am wenigsten. Zwischen beiden Buntkäferarten bestand ein signifikanter Unterschied in der Häutungsanzahl (exakter WILCOXON-Test, Signifikanzniveau $\alpha = 0,05$, einseitig, $p = 0,0091$, Kc: $n = 7$, Om: $n = 4$).

Die Anzahl gefressener Futterlarven betrug für alle 4 Buntkäferarten zusammengefasst 2,5 Futterlarven/Woche. Der wöchentliche Beutekonsum für jede Spezies einzeln, ist mit 2,0 bis 2,9 Futterlarven/Woche ähnlich (Tabelle 19). Eine Darstellung der Mittelwerte gefressener Futterlarven pro Woche für jede der 31 gefütterten Buntkäferlarve einschließlich Fütterungszeitraum und Entwicklungszustand enthält Tabelle 59 im Anhang.

Tabelle 19: Mittelwerte gefressener Tabakkäferlarven pro Woche, zusammengefasst für jede einzelne Buntkäferart und Standardabweichung

Spezies	n Anzahl Larven	Anzahl gefressener Futterlarven/Woche	Standardabweichung
<i>Korynetes caeruleus</i>	23	2,5	0,6
<i>Opilo domesticus</i>	2	2,9	1,5
<i>Opilo mollis</i>	4	2,2	0,4
<i>Tillus elongatus</i>	2	2,0	0,5
alle Spezies	31	2,5	0,7

Abbildung 20 gibt die Anzahl der gefressenen Futterlarven (\pm Standardabweichung) im Zeitraum Juli 2006 bis September 2008 wieder. Die Grafik zeigt, dass vom Februar 2007 (Tag 202) bis Juni 2007 (Tag 351) eine starke Variabilität in der Anzahl gefressener Futterlarven bestand. Mit der Erhöhung der Haltungstemperatur ab August 2007 (Tag 398) auf 22 °C nahm die Streuung in der Futteraufnahme wieder ab und erreichte eine ähnliche Variabilität wie bei 17 °C Haltungstemperatur. Eine leichte Steigerung in der Anzahl gefressener Futterlarven bei gleichzeitiger Verringerung der Variabilität wurde mit der Erhöhung der Haltungstemperatur von 17 °C auf 22 °C erreicht. Die hohe Anzahl gefressener Futterlarven im Zeitraum Februar bis Juni 2007 war auf die Konsumrate der Hausbuntkäferlarve (Nr. 5) zurück zu führen, die sich im September 2007 (Tag 441) zum Käfer entwickelte.

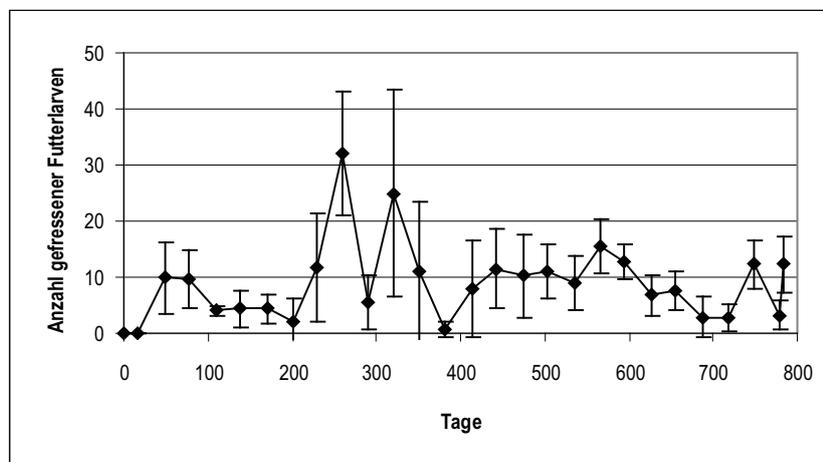


Abbildung 20: Mittelwerte des Beutekonsums von 31 Buntkäferlarven aller Spezies (n = 4) bei reichlicher Fütterung mit Tabakkäferlarven im Zeitraum 14. Juli 2006 (Tag 0) bis zum 4. September 2008 (Tag 783)

Die Ergebnisse des Fütterungsversuches zeigen, dass Tabakkäferlarven als Ersatzfutter von Buntkäferlarven der untersuchten Spezies angenommen werden. Eine Temperaturerhöhung führte zu einer nur leichten Steigerung des Beutekonsums.

Versuche mit Imagines

Blauer Fellkäfer (*Korynetes caeruleus*)

Im Nachfolgenden wird die Lebensdauer adulter Blauer Fellkäfer, die aus der Freilandentnahme stammten, dargestellt. Bedingt durch die Entnahme aus dem Bauwerk ist der Schlupftag der jeweiligen Imago nicht genau bekannt. Die Tiere wurden am 29. April 2007 im Gebäude (Nr. 1) aufgesammelt und in Gruppen (n = 10) aus männlichen und weiblichen Tieren bei 17 °C und 70% relativer Luftfeuchte in Dunkelheit gehalten. In Tabelle 20 ist die kumulative Mortalität der Imagines des Blauen Fellkäfers bei reichlichem Futterangebot durch die beiden Futtertierarten Tabakkäfer (*L. serricornes*) und Brotkäfer (*S. paniceum*) angegeben. Eine Wasseraufnahme der Buntkäfer erfolgte am angefeuchteten Filterpapier.

Tabelle 20: Kumulative Mortalität (%) in Gruppen zu 10 Tieren gehaltener adulter *Korynetes caeruleus* bei Fütterung mit Larven von *Lasioderma serricornes* bzw. *Stegobium paniceum* und einer Haltungstemperatur von 17 °C und 70% r. F.

Zuchtglas	Anzahl	Futtertierart	29.04.2007 0. Tag	04.05.2007 5. Tag	07.05.2007 8. Tag	15.05.2007 16. Tag	23.05.2007 24. Tag	12.06.2007 44. Tag
1	10	<i>L. serricornes</i>	0	0	0	20	40	100
2	10	<i>L. serricornes</i>	0	0	0	20	70	100
3	10	<i>L. serricornes</i>	0	0	0	10	60	100
4	10	<i>S. paniceum</i>	0	0	0	40	90	90
5	3	<i>S. paniceum</i>	0	0	0	0	100	100
Σ	43							
Mittelwert			0	0	0	18	72	98
Standardabweichung			0	0	0	14,8	23,9	4,5

Innerhalb der ersten acht Tage starben keine Tiere und bis zum 16. Tag nach der Bauwerksentnahme waren 18% verstorben. Bis zum 24. Tag erhöhte sich die Sterblichkeit auf 72% und am 44. Tag betrug die Mortalität 98%. Eine Eiablage konnte nicht festgestellt werden. In Abbildung 21 ist die Lebensdauer der Versuchstiere mit Angabe der Standardabweichung dargestellt.

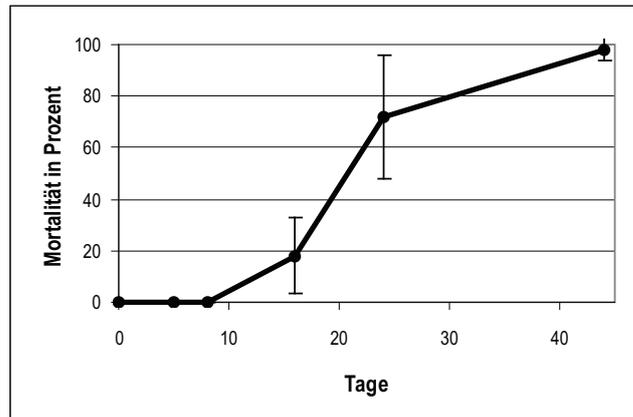


Abbildung 21: Kumulative Mortalität in Gruppen gehaltener *Korynetes caeruleus* aus der Freilandentnahme bei Fütterung mit Larven von *Lasioderma serricornis* bzw. *Stegobium paniceum* und einer Haltungstemperatur von 17 °C und 70% r.F.

Die Mortalität verpaarter Individuen des Blauen Felikäfers ($n = 34$ Paare) ohne Futterzugabe als Hungertiere bei verschiedenen Haltungstemperaturen ist in Tabelle 21 und als Grafik in Abbildung 22 dargestellt. Die Mortalität betrug bis zum 4. Tag nach der Bauwerksentnahme 3,3% und erhöhte sich bis zum 9. Tag auf über die Hälfte der Tiere (57,2%). Am Folgetag (10. Tag) waren 70,3% der Tiere gestorben und am 15. Tag lebten keine Tiere mehr.

Tabelle 21: Kumulative Mortalität verpaarter *Korynetes caeruleus* ohne Futterzugabe (Hungertiere) bei einer Haltungstemperatur von 17 °C, 23 °C, 30 °C und 70% r.F.

Anzahl n der Tiere verpaart	Temperatur	25.05.2008 0. Tag	28.05.2008 3. Tag	29.05.2008 4. Tag	03.06.2008 9. Tag	04.06.2008 10. Tag	09.06.2008 15. Tag
30	17 °C	0,0	6,7	6,7	40,0	46,7	100,0
30	23 °C	0,0	3,3	3,3	56,7	76,7	100,0
8	28 °C	0,0	0,0	0,0	75,0	87,5	100,0
Σ 68							
Mittelwert		0,0	3,3	3,3	57,2	70,3	100,0
Standardabweichung		0,0	3,3	3,3	17,5	21,2	0,0

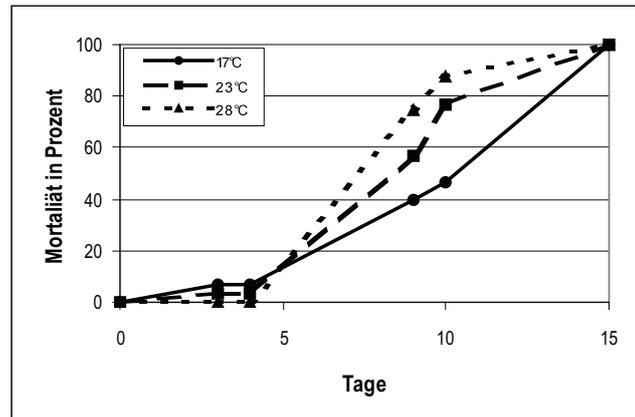


Abbildung 22: Kumulative Mortalität verpaarter *Korynetes caeruleus* aus der Freilandentnahme ohne Futterzugabe (Hungertiere) bei 17 °C, 23 °C und 28 °C Haltungstemperatur

Die durchgeführten Probit-Analysen für gefütterte Blaue Felikäfer und für Hungertiere liefern bei einer Mortalität von 50% eine mittlere Lebensdauer bei gefütterten Tieren von 23,5 Tagen und bei Hungertieren von 9,4 Tagen (Tabelle 22). Die Lebenszeiten unterscheiden sich damit stark in Abhängigkeit von der Futteraufnahme der Imagines.

Tabelle 22: Probit Analyse bezüglich der Zeit für gefütterte Tiere und ungefütterte Tiere (Hungertiere) adulter *Korynetes caeruleus*

Versuchstiere	Zeit	95 %- Konfidenzintervall	
gefütterte Tiere	23,5537	21,2523	27,2201
ungefütterte Tiere	9,4870	8,5989	10,5004

Schwarzflügeliger Holzbuntkäfer (*Tillus elongatus*)

Der Schwarzflügelige Holzbuntkäfer wurde in Rotbuchenholz gezüchtet und täglich auf Schlupf kontrolliert. Damit war der Schlupftag der jeweiligen Imago genau bekannt. In Tabelle 23 ist die Lebensdauer verpaarter Tiere im Vergleich zu weiblichen Einzeltieren ohne Partner unter Futtertierzugabe dargestellt. Gefüttert wurde mit Larven des Tabakkäfers (*L. serricornis*), des Gewöhnlichen Nagekäfers (*A. punctatum*) und mit Imagines des Gekämmten Nagekäfers (*P. pectinicornis*). Angebotene Puppen im Kokon und adulte Tiere des Tabakkäfers wurden nicht angenommen. Verpaarte Weibchen leben geringfügig länger als Weibchen ohne Partnerkontakt. Verpaarte männlich Tiere lebten bei Partnerkontakt wesentlich kürzer als die Weibchen (Tabelle 23).

Tabelle 23: Mittlere Lebensdauer in Tagen von verpaarten und Einzeltieren von *Tillus elongatus* bei Futterzugabe und einer Haltungstemperatur von 20 °C und 70 % r.F.

Anzahl der Tiere	Lebensdauer in Tagen			
	verpaarte Tiere		Anzahl der Tiere	Einzeltiere
	♀	♂		♀
2	50	17	1	42
2	49	14	1	52
2	52	10	0	-
Mittelwert	50,3	13,7	Mittelwert	47,0
StAbw.	1,5	3,5	StAbw.	7,1

Eine Eiablage erfolgte nur bei einem Paar. Das Weibchen, das unmittelbar nach dem Schlupf einen Partner erhielt, der zum gleichen Zeitpunkt geschlüpft war, legte 29 Tage nach dem Zusammensetzen der Tiere im Eigelege 11 Eier ab. Die Eier waren weiß, von länglicher Form mit 1,5 mm Länge, gemessen von Pol zu Pol, und einem mittleren Durchmesser von 0,3 mm.

Bei Hungertieren lebten befruchtete Weibchen, die ohne Partner gehalten wurden, und verpaarte Weibchen mit Partnerkontakt am längsten (Tabelle 24). Verpaarte männliche und Einzeltiere wiesen keine Unterschiede in der Lebensdauer auf. Am kürzesten leben verpaarte männliche Tiere mit Partnerkontakt.

Tabelle 24: Mittlere Lebensdauer verpaarter *Tillus elongatus*, befruchteter Weibchen, verpaarter Männchen und männlicher Einzeltiere ohne Futterzugabe (Hungertiere) bei einer Haltungstemperatur von 20 °C und 70 % r. F.

Anzahl der Tiere	Lebensdauer in Tagen				
	verpaarte Tiere		befruchtet ohne Partner	verpaart ohne Partner	Einzeltier ohne Partner
	♀	♂	♀	♂	♂
5	13	6	10	4	9
5	9	4	11	7	4
4	5	5	-	8	6
2	8	7	-	-	-
2	7	5	-	-	-
Mittelwert	8,4	5,4	10,5	6,3	6,3
StAbw.	3,0	1,1	0,7	2,1	2,5

Weicher Buntkäfer (*Opilo mollis*)

Die Tiere (n=3) wurden im Gebäude (Nr. 7, 10) bzw. als Klebefallenfang (Nr. 8) aufgesammelt. Das Schlupfdatum ist unbekannt. Die adulten Käfer wurden mit adulten Gescheckten Nagekäfern (*X. rufovillosum*), lebend und frischtot sowie mit lebenden adulten Gekämmten

Nagekäfern (*P. pectinicornis*) gefüttert, die ebenfalls dem Bauwerk entstammten. Die Zugabe der Futtertiere erfolgte variierend. Neue Futtertiere wurden jeweils erst dann zugegeben nach dem das zuvor angebotene Futtertier konsumiert war. Alle angebotenen Futtertiere wurden gefressen.

Tabelle 25 gibt die Lebensdauer gefütterter Einzeltiere wieder. Eine Einzelhaltung der Imagines war notwendig, da beobachtet wurde, dass mehrere in einer Petrischale zusammengesetzte Tiere sich die Beine abbeißen.

Tabelle 25: Lebensdauer in Tagen gefütterter adulter *Opilo mollis*, gehalten als Einzeltier bei 20 °C und 50 % r.F. unter Zugabe verschiedener adulter Futtertiere (Xr = *Xestobium rufovillosum*, Pt = *Ptilinus pectinicornis*)

Geb.-Nr.	Funddatum	Geschlecht	Lebensdauer [Tage]	Anzahl angebotener und gefressener adulter Futtertiere			
				Pt (lebend)	Xr (lebend)	Xr (frischtot)	Summe
7	01.04.2007	♂	70	13	3	11	27
8	30.04.2007	♂	29	1	5	5	11
10	27.04.2006	♂	68	9	7	12	28

Lebende Beute wurde sofort angegriffen. Bei toter Beute betrug die Verzögerung der Futteraufnahme ein bis zwei Tage. Die Beute wurde rasch mit den Mandibeln (Oberkiefer) und den nachgreifenden beiden Vorderbeinpaaren gepackt (Abbildung 23). Sie wurde so gedreht, dass der Kopf vorne und die Bauchseite oben lag. Mit kräftigen Schnitten der Mandibeln wurde die Brust (Thorax) durchgetrennt. Der *Opilo* begann am Kopf, der Brust und dem Hinterleib alle Weichteile auszufressen. Das Beutetier wurde vollständig zerlegt und es blieb nur der Hautpanzer (Cuticula) übrig.



Abbildung 23: Weicher Buntkäfer (oberes Tier) beim Ausfressen eines Gescheckten Nagekäfers, die Beute wird fest mit den Vorder- und Mittelbeinen gehalten

Alle drei untersuchten Buntkäferarten (*Korynetes caeruleus*, *Tillus elongatus*, *Opilo mollis*) sind karnivor. Sie nahmen im Imaginalstadium Nahrung auf. Natürliche Beute wurde bevorzugt. Der Schwarzflügelige Holzbuntkäfer und der Weiche Buntkäfer fraßen Holzinsekten die zeitgleich aus dem Holz schlüpften, während durch den Blaue Fellkäfer keine adulten Futtertiere angenommen wurden. Buntkäfer die Nahrung aufgenommen hatten, lebten länger als Hungertiere.

3.2.2 Begasung mit Sulfuryldifluorid

Insgesamt wurden 4 Begasungen mit unterschiedlichen Konzentrationsstufen von Sulfuryldifluorid durchgeführt (Tabelle 26). Begonnen wurde mit der höchsten Konzentration von 30 g/m^3 , die in anschließenden Versuchen schrittweise bis auf 5 g/m^3 reduziert wurde. Für die Begasung wurden 9 Prüfklotze verwendet, die 3 Serien bildeten. Jede Serie umfasste 3 Prüfklotze in abgestufter Länge (11 cm, 15 cm, 23 cm). In die Prüfklotze wurden insgesamt 36 Versuchstiere eingesetzt. Davon entfallen auf jeden Prüfklotz 2 Larven des Gewöhnlichen Nagekäfers (*A. punctatum*) und 2 Larven des Blauen Fellkäfers (*K. caeruleus*). Die Gewichte der einzelnen Larven sind in Tabelle 60 in Anhang dargestellt. Es wurde jeweils eine unbehandelte Prüfklotzserie zur Kontrolle mitgeführt.

Tabelle 26: Eingesetzte Konzentrationsstufen von Sulfuryldifluorid in 4 Begasungsversuchen

Versuchs-Nr.	Stadium	r. F. [%]	Temp. [°C]	Zeit [h]	Konz. SF [g/m ³]	ct-Produkt [gh/m ³]
1	Larven	70	16 - 17	72	30	2.160
2	Larven	70	16 - 17	72	10	720
3	Larven	70	16 - 17	72	5	360
4	Larven	70	16 - 17	24	5	120

Im 1. Versuch lag die Sterblichkeit (Mortalität) der eingesetzten Tiere in den behandelten Prüfklotzen bei 100% (Tabelle 27). Einige Larven waren teilweise stärker melanisiert. In den unbehandelten Proben überlebten die Tiere, wobei nicht alle Larven des Gewöhnlichen Nagekäfers aus den unbehandelten Proben entnommen werden konnten, da sich 4 Tiere in den Holzkörper eingebohrt hatten. Sie wurden als „Verlust“ registriert. Eine weitere Nagekäferlarve wurde von einer Buntkäferlarve gefressen, die bis zu ihrer Beute vorgedrungen war. Daher wurden ab dem 2. Begasungsversuch Versuchstierbehälter verwendet, die eine Mobilität der Larven verhinderten. Im unbehandelten Prüfklotz (160 x 160 x 150 mm) verpuppte sich innerhalb der Versuchszeit (Ende Juli) eine Larve des Blauen Fellkäfers (Probe 8 (UB)). Die durchgeführten zwei Nachkontrollen innerhalb von 12 Tagen ergaben für diesen Versuch keine Veränderung in der Mortalität.

Im 2. Versuch kam es in den behandelten Proben zu einer vollständigen Abtötung aller Versuchstiere beider Spezies (Tabelle 28). Abweichend von den anderen Versuchsreihen wurden beim Blauen Fellkäfer nur 11 von 12 Larven in die zu begasenden Prüfklotze eingesetzt. Zwei der behandelten Larven dieser Art häuteten sich innerhalb der Versuchsdauer. Die

Versuchsdauer umfasste einen 9-tägigen Zeitraum vom Einsetzen der Larven bis zum Öffnen der Prüfklotze. In den unbehandelten Kontrollproben überlebten alle Tiere. Die zwei Nachkontrollen innerhalb von 10 Tagen ergaben keine Veränderung zum Ergebnis der Erstkontrolle.

Tabelle 27: Ergebnis des 1. Begasungsversuches mit 30 g/m³ SF bei 72 h Einwirkzeit (ct-Produkt: 2.160 gh/m³, Temperatur 16 – 17 °C und 70% r.F.; • lebend, + tot, B behandelt, UB unbehandelt)

Prüfklotz-Nr.	Abmessung [mm]	Anobium punctatum	Anobium punctatum	Korynetes caeruleus	Korynetes caeruleus
1 (B)	160 x 160 x 230	+	+	+	+
2 (B)	160 x 160 x 230	+	+	+	+
3 (B)	160 x 160 x 150	+	+	+	+
4 (B)	160 x 160 x 150	+	+	+	+
5 (B)	160 x 160 x 110	+	+	+	+
6 (B)	160 x 160 x 110	+	+	+	+
7 (UB)	160 x 160 x 230	Verlust	Verlust	•	•
8 (UB)	160 x 160 x 150	Verlust	Verlust	• (Puppe)	•
9 (UB)	160 x 160 x 110	•	+ (gefressen)	•	•

Tabelle 28: Ergebnis des 2. Begasungsversuches mit 10 g/m³ SF bei 72 h Einwirkzeit (ct-Produkt: 720 gh/m³, Temperatur 16 – 17 °C und 70% r.F.; • lebend, + tot, B behandelt, UB unbehandelt)

Prüfklotz-Nr.	Abmessung [mm]	Anobium punctatum	Anobium punctatum	Korynetes caeruleus	Korynetes caeruleus
1 (B)	160 x 160 x 230	+	+	+	+
2 (B)	160 x 160 x 230	+	+	+	+
3 (B)	160 x 160 x 150	+	+	+ (gehäutet)	+
4 (B)	160 x 160 x 150	+	+	+	+ (gehäutet)
5 (B)	160 x 160 x 110	+	+	+	+
6 (B)	160 x 160 x 110	+	+	+	-
7 (UB)	160 x 160 x 230	•	•	•	•
8 (UB)	160 x 160 x 150	•	•	•	•
9 (UB)	160 x 160 x 110	•	•	•	•

Im 3. Versuch betrug die Mortalität in den behandelten Proben für beide Spezies 100% (Tabelle 29). Die abgetöteten Tiere zeigten im Vergleich zu den beiden vorangegangenen Versuchen keine Melanisierung mehr. Der Larvenkörper war nicht eingefallen oder verformt. In den unbehandelten Klötzen überlebten alle Tiere. Die durchgeführten zwei Nachkontrollen innerhalb von 13 Tagen ergaben keine Veränderung der Ergebnisse. Eine Larve des Blauen Fellkäfers (7 UB) hat sich im Nachkontrollzeitraum gehäutet.

Tabelle 29: Ergebnis des 3. Begasungsversuches mit 5 g/m³ SF bei 72 h Einwirkzeit
(ct-Produkt: 360 gh/m³, Temperatur 16 – 17 °C bei 70 % r. F.; • lebend, + tot, B behandelt, UB unbehandelt)

Prüfklotz-Nr.	Abmessung [mm]	Anobium punctatum	Anobium punctatum	Korynetes caeruleus	Korynetes caeruleus
1 (B)	160 x 160 x 230	+	+	+	+
2 (B)	160 x 160 x 230	+	+	+	+
3 (B)	160 x 160 x 150	+	+	+	+
4 (B)	160 x 160 x 150	+	+	+	+
5 (B)	160 x 160 x 110	+	+	+	+
6 (B)	160 x 160 x 110	+	+	+	+
7 (UB)	160 x 160 x 230	•	•	•	•
8 (UB)	160 x 160 x 150	•	•	•	•
9 (UB)	160 x 160 x 110	•	•	•	•

Im 4. Versuch überlebten 7 Larven des Gewöhnlichen Nagekäfers und 5 Larven des Blauen Fellkäfers (Tabelle 30).

Tabelle 30: Ergebnis des 4. Begasungsversuches mit 5 g/m³ SF bei 24 h Einwirkzeit
(ct-Produkt: 120 gh/m³), 16 – 17 °C und 70 % r. F. nach Öffnung der Prüfklotze als Sofortkontrolle
(• lebend, + tot, B behandelt, UB unbehandelt)

Prüfklotz-Nr.	Abmessung [mm]	Anobium punctatum	Anobium punctatum	Korynetes caeruleus	Korynetes caeruleus
1 (B)	160 x 160 x 230	•	•	•	•
2 (B)	160 x 160 x 230	•	+	+	•
3 (B)	160 x 160 x 150	•	•	+	+
4 (B)	160 x 160 x 150	•	•	+	+
5 (B)	160 x 160 x 110	+	+	•	•
6 (B)	160 x 160 x 110	+	+	+	+
7 (UB)	160 x 160 x 230	•	•	•	•
8 (UB)	160 x 160 x 150	•	•	•	•
9 (UB)	160 x 160 x 110	•	•	•	•

Die Nachsterblichkeit innerhalb von 12 Tagen verminderte die Anzahl der überlebenden Larven des Gewöhnlichen Nagekäfers auf 1 Tier und für den Blauen Fellkäfer auf 3 Tiere. Zwei Larven des Blauen Fellkäfers überlebten aus Prüfklotz 1 (160 x 160 x 230 mm, Fichte) und eine weitere verstarb aus Prüfklotz 5 (160 x 160 x 110 mm, Fichte) innerhalb der Kontrollzeit. Zugleich konnte die Revitalisierung einer Blauen Fellkäfer-Larve zum 3. Kontrolltermin aus Prüfklotz 4 (160 x 160 x 150 mm, Kiefer) beobachtet werden, die an beiden vorangegangenen Terminen als tot beurteilt wurde. Einen Unterschied in der Anzahl der überlebenden Larven in den behandelten Proben gab es zwischen der zweiten und dritten Kontrolle nicht. Das Verhältnis lebend/tot betrug an beiden Nachkontrollterminen 1 : 11 beim Schädling und 3 : 9 beim Nützling. In den unbegasteten Proben des 4. Begasungsversuches überlebten alle Kontrolltiere. Die Tabellen 30 bis 32 stellen die Ergebnisse der 4. Begasung mit den drei zeitlich gestaffelten Kontrollterminen dar.

Tabelle 31: Ergebnis des 4. Begasungsversuches mit 5 g/m³ SF bei 24 h Einwirkzeit (ct-Produkt: 120 gh/m³), 16 – 17 °C und 70% r.F. zur 2. Nachkontrolle am 3. Tag nach Öffnung der Prüfklotze (• lebend, + tot, B behandelt, UB unbehandelt)

Prüfklotz-Nr.	Abmessung [mm]	Anobium punctatum	Anobium punctatum	Korynetes caeruleus	Korynetes caeruleus
1 (B)	160 x 160 x 230	+	+	•	•
2 (B)	160 x 160 x 230	+	+	+	+
3 (B)	160 x 160 x 150	+	+	+	+
4 (B)	160 x 160 x 150	+	+	+	+
5 (B)	160 x 160 x 110	.	+	•	+
6 (B)	160 x 160 x 110	+	+	+	+
7 (UB)	160 x 160 x 230	•	•	•	•
8 (UB)	160 x 160 x 150	•	•	•	•
9 (UB)	160 x 160 x 110	•	•	•	•

Tabelle 32: Ergebnis des 4. Begasungsversuches mit 5 g/m³ SF bei 24 h Einwirkzeit (ct-Produkt: 120 gh/m³), 16 – 17 °C und 70% r.F. zur 3. Nachkontrolle am 11. Tag nach Öffnung der Prüfklotze (• lebend, + tot, B behandelt, UB unbehandelt)

Prüfklotz-Nr.	Abmessung [mm]	Anobium punctatum	Anobium punctatum	Korynetes caeruleus	Korynetes caeruleus
1 (B)	160 x 160 x 230	+	+	•	•
2 (B)	160 x 160 x 230	+	+	+	+
3 (B)	160 x 160 x 150	+	+	+	+
4 (B)	160 x 160 x 150	+	+	•	+
5 (B)	160 x 160 x 110	•	+	+	+
6 (B)	160 x 160 x 110	+	+	+	+
7 (UB)	160 x 160 x 230	•	•	•	•
8 (UB)	160 x 160 x 150	•	•	•	•
9 (UB)	160 x 160 x 110	•	•	•	•

Aus Tabelle 30 und 32 ist zu erkennen, dass eine Nachsterblichkeit auftrat. Anhand der durchgeführten Kontingenztafelanalyse (χ^2 -Test, exakt) besteht beim Schädling (*A. punctatum*) ein signifikanter Unterschied zwischen der Sofortkontrolle nach Öffnung der Prüfklotze und der Nachkontrolle zum späteren Zeitpunkt auf dem Signifikanzniveau $\alpha = 0,05$ ($p = 0,0272$). Für den natürlichen Gegenspieler (*K. caeruleus*) war eine Tendenz zur Nachsterblichkeit vorhanden, die aber statistisch nicht nachweisbar war ($p = 0,6668$). Die Kontingenztafeln sind im Anhang der Arbeit wiedergegeben (Tabellen 57 und 58). Eine zusammenfassende Darstellung zur Mortalität bei den Begasungsversuchen umfasst Tabelle 33.

Tabelle 33: Zusammenfassung der Ergebnisse aus den Begasungsversuchen

ct-Produkt [gh/m ³]	Anzahl überlebender Larven		Anzahl toter Larven	
	Anobium punctatum	Korynetes caeruleus	Anobium punctatum	Korynetes caeruleus
2.160	0	0	12	12
720	0	0	12	12
360	0	0	12	12
120	1	3	11	9

Eine Beeinflussung des Versuchsergebnisses durch den verwendeten Silikon-Dichtstoff, infolge einer Ausdunstung von Essigsäure, konnte nicht festgestellt werden. Die klimatischen Lagerungsbedingungen der Prüflötte vor, während und nach der Begasung bei 23 °C zeigten keine mortalitätsbeeinflussende Wirkung auf den Versuchsablauf. Eine grafische Darstellung des Klimaverlaufes während des 4. Begasungsversuches von *Anobium punctatum* und *Korynetes caeruleus* mit 5 g/m³ Sulfuryldifluorid für 24 Stunden im Vergleich zur unbehandelten Probe zeigen die Abbildungen 62 und 63 im Anhang.

3.3 Apparative Schadensdiagnose

Die apparativen Untersuchungen mit der Bohrwiderstandsmessung und dem Ultraschallechoverfahren erfolgten an Hölzern mit einem natürlich eingetretenen Insektenbefall durch die Zielorganismen Gewöhnlicher Nagekäfer (*Anobium punctatum*), Gescheckter Nagekäfer (*Xestobium rufovillosum*) und Gekämmter Nagekäfer (*Ptilinus pectinicornis*). Die Hölzer sind Originalbauteile, die verschiedenen Bauwerken entnommen wurden. Sie umfassten die Holzarten Kiefer (*Pinus sylvestris*), Fichte (*Picea abies*), Lärche (*Larix decidua*), Eiche (*Quercus* sp.) und Rotbuche (*Fagus sylvatica*).

3.3.1 Nachweis von Insektenschäden mit der Bohrwiderstandsmessung

Insgesamt wurden 450 Einzelbohrungen mit der Bohrwiderstandsmethode an insektenbefallenen Hölzern durchgeführt. Tabelle 61 im Anhang beschreibt die Prüfkörper und benennt die Anzahl der Bohrungen in den jeweiligen Holzarten mit Insektenbefall. Vergleichende Untersuchungen erfolgten an Hölzern mit Befall durch verschiedene Insektenarten und Pilzbefall, um deren Einfluss auf das Messergebnis zu ermitteln.

Bei der Bohrwiderstandsmessung werden im Holz bestehende Dichteunterschiede im Bohrwiderstandsdiagramm (kurz als Bohrprofil bezeichnet) abgebildet. Dabei wird eine Zerstörung der Holzstruktur im Bohrprofil durch einen Einbruch oder Abfall der Bohrwiderstandskurve angezeigt. Um Fraßgänge der Holzinsekten als Einbruch im Bohrprofil detektieren zu können, bedurfte es der Bestimmung des Frühholzniveaus mit seinen niedrigen Dichten.

Das ungeschädigte Frühholzniveau wurde als untere Grenze angenommen. Für die Bewertung der durch die Bohrnadel getroffenen Fraßgänge der Holzinsekten wurde die durch den Bohrtrend schräg ansteigende Grundlinie parallel bis zum angenommenen ungeschädigten Frühholzniveau verschoben. Die Anzahl der Einbrüche im Bohrprofil unter dieser Grenzlinie wurden ermittelt. Der strukturelle Alterstrend, einer Verringerung der Jahrringbreite mit zunehmenden Alter des Baumes, wurde berücksichtigt, wenn die entsprechende Probegröße mit Markröhre vorlag.

In einer visuellen Gegenüberstellung aufgeschnittener Proben und entsprechendem Bohrprofil konnte verifiziert werden, wie zuverlässig Fraßgänge der Holzinsekten im Bohrprofil angezeigt werden. Für die bildliche Darstellung der Ergebnisse wurden die Bohrprofile auf den Holzkörper gelegt. Zusätzlich wurde das Bohrprofil im Koordinatensystem als sogenanntes Bildanalyseprofil mit angegeben, wobei der Bohrwiderstand (y-Achse) gegen die Bohrtiefe (x-Achse) aufgetragen wurde (Abbildung 24 bis 37). Während der Bohrwiderstand eine dimensionslose Größe ist, wurde die Bohrtiefe im Holz in Millimeter [mm] angegeben.

Gewöhnlicher Nagekäfer (*Anobium punctatum*)

Die zumeist im Frühholz angelegten 1 bis 2 mm Fraßgänge mit kleinem Durchmesser lassen sich im Bohrwiderstandsdiagramm häufig nicht sicher wieder finden (Abbildung 24). Insbesondere bei Engjahrringigkeit ist der Fraßgang von der natürlichen Frühholz-Spätholz-Abfolge nicht zu unterscheiden (Abbildung 25). Während vereinzelte Fraßgänge im Holz mit dem Verfahren kaum angezeigt werden können, sind stark zerfressene Frühholzbereiche als Schaden lokalisierbar. Der mehrere Jahrringe umfassende starke Larvenfraß wurde als deutlicher Abfall des Bohrwiderstandes im Messprofil abgebildet (Abbildung 26), die Jahrringfolge wurde unterbrochen. Ein Abfall des Bohrprofils bis zur Grundlinie wurde durch den Fraß dieses Insekt nicht erreicht.

Bei einer zusätzlichen Pilzschädigung im Holz wurde der Insektenschaden durch den Pilzbefall überdeckt und war nicht als Insektenfraß detektierbar (Abbildung 27). Im Vergleich zum Insektenfraß erfolgte bei einem fortgeschrittenen Pilzschaden der Einbruch im Bohrprofil meist bis zur Grundlinie.

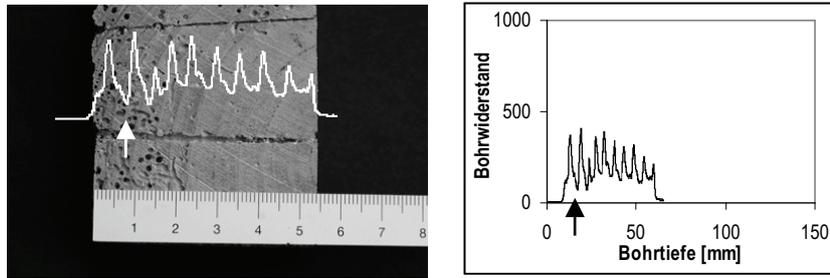


Abbildung 24: Fraßgänge von *Anobium punctatum* in Kiefer, dargestellt im Holzkörper mit eingezeichneten Bohrwiderstandsprofil (links) und als Bildanalyseprofil (rechts); im Bohrwiderstandsprofil sind die Fraßgänge im Frühholz (Pfeil) nicht deutlich wieder zu finden und unterscheiden sich kaum vom ungeschädigten Holz

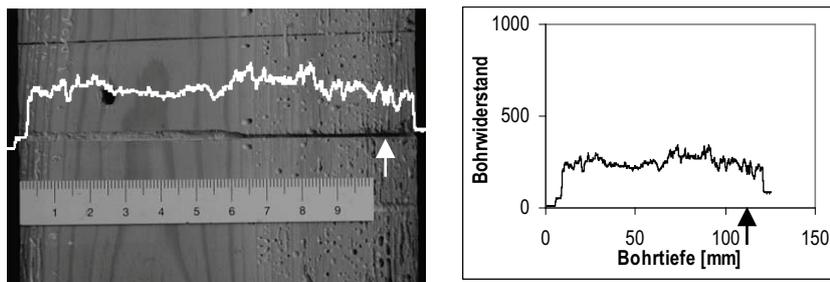


Abbildung 25: Fraßgänge von *Anobium punctatum* in Kiefer, dargestellt im Holzkörper mit eingezeichneten Bohrwiderstandsprofil (links) und als Bildanalyseprofil (rechts); Engjährringigkeit (Pfeil) verhindert die sichere Erkennung der Insektenfraßgänge

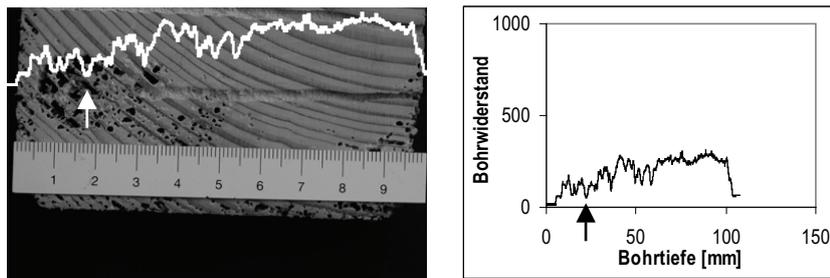


Abbildung 26: Fraßgänge von *Anobium punctatum* in Fichte, dargestellt im Holzkörper mit eingezeichneten Bohrwiderstandsprofil (links) und als Bildanalyseprofil (rechts); starker Larvenfraß (Pfeil) führt zu einem deutlichen Abfall im Bohrwiderstandsprofil

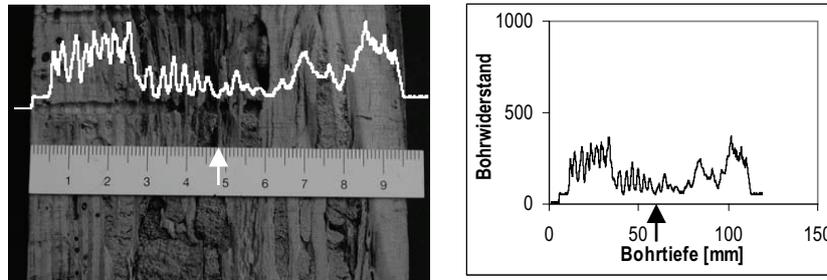


Abbildung 27: Fraßgänge von *Anobium punctatum*, von Frischholzinsekten und zusätzlichem Pilzbefall in Kiefer, dargestellt im Holzkörper mit eingezeichnetem Bohrwiderstandsprofil (links) und als Bildanalyseprofil (rechts); der Pilzbefall und die größeren Fraßgänge von Frischholzinsekten (Pfeil) überdecken die Schäden durch die Nagekäferart

Ebenso führten Fraßgänge größerer Insektenlarven, wie die von Bockkäfern (Cerambycidae), zur Überlagerung der wesentlichen kleineren Fraßgänge der Nagekäfer (Anobiidae). Eine Unterscheidung bezüglich der Insektenart war anhand des abgebildeten Bohrprofils nicht möglich.

Gescheckter Nagekäfer (*Xestobium rufovillosum*)

Die kreisrunden Fraßgänge dieser Schädlingsslarve ließen sich aufgrund ihrer Größe von 2 bis 3 mm Durchmesser besser als die des Gewöhnlichen Nagekäfers im Bohrprofil abbilden (Abbildung 28). Die Einbrüche im Bohrprofil gehen bis unter das Frühholzniveau und erreichen bei signifikanten Fraßschäden auch die Grundlinie (Abbildung 29). Die Abbildung von Larvenfraßgängen im Bohrdiagramm entfällt jedoch, wenn ein zusätzlicher starker Pilzbefall besteht. Die Larvenfraßgänge wurden von der Pilzschädigung durch den Abfall des Bohrwiderstandes überdeckt und waren dem Insektenfraß nicht mehr deutlich zuzuordnen. Der Bohrwiderstand insektengeschädigter Proben mit sekundärem Pilzbefall lag deutlich niedriger als der Bohrwiderstand der ungeschädigten Kontrollprobe von gleicher Herkunft und demselben Alter. Risse im Holz waren von Fraßgängen nicht zu unterscheiden.

Ein Einbruch im Bohrprofil in der Form einer Abtreppung war ein Hinweis auf das Insekt. Breite Einbrüche im Bohrprofil wurden durch ein schräges Auftreffen der Bohrnadel auf den Fraßgang hervorgerufen.

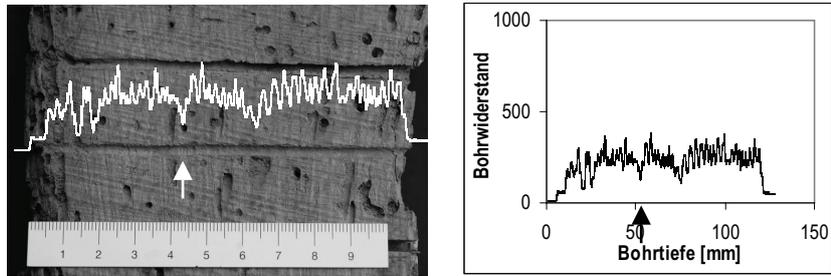


Abbildung 28: Fraßgänge von *Xestobium rufovillosum* in Eiche, dargestellt im Holzkörper mit eingezeichneten Bohrprofilsprofil (links) und als Bildanalyseprofil (rechts); Fraßgänge der Schädlinglarve werden deutlich als Einbruch (Pfeil) im Bohrprofil dargestellt

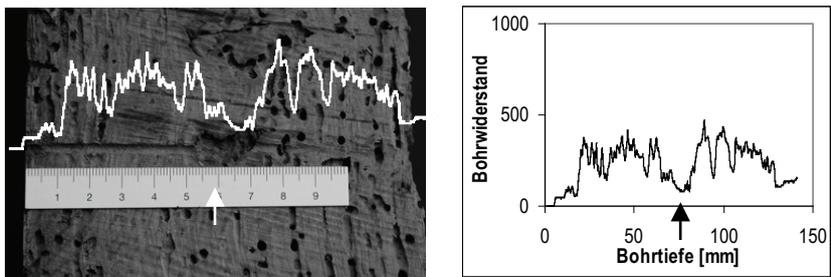


Abbildung 29: Fraßgänge von *Xestobium rufovillosum* in Eiche, dargestellt im Holzkörper mit eingezeichneten Bohrprofilsprofil (links) und als Bildanalyseprofil (rechts); bei vollständig aufgefressener Holzsubstanz (Pfeil) fällt der Bohrwiderstand bis zur Grundlinie

Gekämmter Nagekäfer (*Ptilinus pectinicornis*)

Larvenfraßgänge dieser Art wurden im Bohrprofil nur angezeigt, wenn es sich um Gänge mit einem Durchmesser > 1 mm handelte (Abbildung 30). Schmalere angelegte Gangsysteme wurden nicht dargestellt (Abbildung 31).

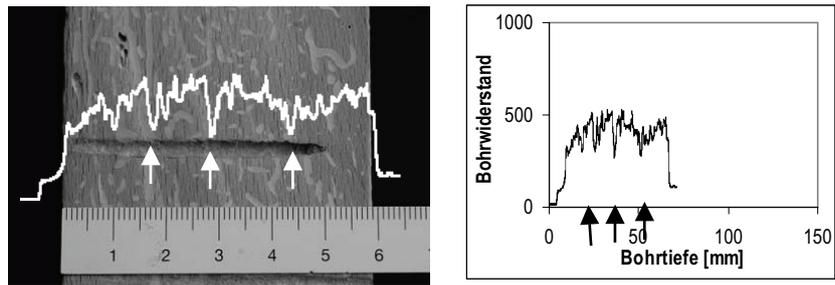


Abbildung 30: Fraßgänge von *Ptilinus pectinicornis* in Rotbuche, dargestellt im Holzkörper mit eingezeichneten Bohrwiderstandsprofil (links) und als Bildanalyseprofil (rechts); nur breite Fraßgänge (Pfeile) werden deutlich im Bohrwiderstandsprofil angezeigt

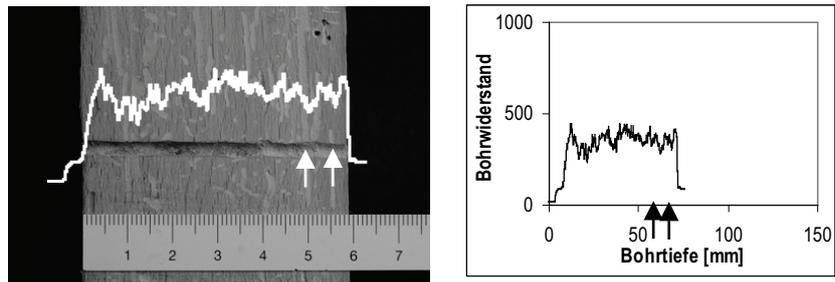


Abbildung 31: Fraßgänge von *Ptilinus pectinicornis* in Rotbuche, dargestellt im Holzkörper mit eingezeichneten Bohrwiderstandsprofil (links) und als Bildanalyseprofil (rechts); schmale Fraßgänge (Pfeile) werden im Bohrprofil nicht deutlich abgebildet

Das feste, artbedingte Verstopfen der Gänge durch die Schädlinglarve, im Vergleich zu den beiden anderen Nagekäferarten, beeinflusst den Bohrwiderstand. Fehlendes Nagemehl im Fraßgang führte zu deutlicheren Einbrüchen im Bohrprofil (Abbildung 32). Stark zerstörte Holzsubstanz wird durch mehrfache Einbrüche sichtbar. Bei der untersuchten Probe lag ein insgesamt niedrigerer Bohrwiderstand vor (Abbildung 33). Hölzer mit Pilzbefall (Weißfäule) verhinderten die Erfassung des Insekten Schadens. Die sich als dunkle Zone im Holz markierende Grenze zum Pilzbefall (sog. Grenzlinie) war als Dichtespitze im Bohrprofil gekennzeichnet. Der Bohrwiderstand der insektengeschädigten Holzprobe war im Vergleich zum Bohrwiderstand einer ungeschädigten Kontrollprobe niedriger.

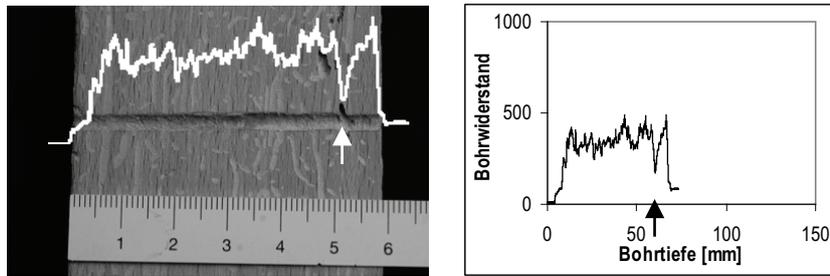


Abbildung 32: Fraßgänge von *Ptilinus pectinicornis* in Rotbuche, dargestellt im Holzkörper mit eingezeichneten Bohrwiderstandsprofil (links) und als Bildanalyseprofil (rechts); nicht verstopfte Fraßgänge (Pfeil) sind als deutlicher Einbruch im Bohrprofil erkennbar

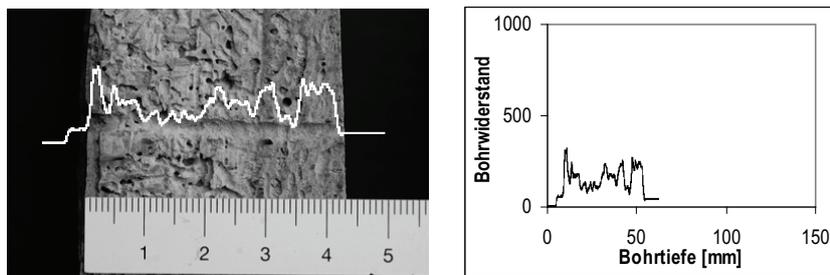


Abbildung 33: Fraßgänge von *Ptilinus pectinicornis* in Rotbuche, dargestellt im Holzkörper mit eingezeichneten Bohrwiderstandsprofil (links) und als Bildanalyseprofil (rechts); bei starker Zerstörung und fehlendem Nagemehl wird der Schaden sichtbar

Ungeschädigte Kontrollproben

Im Nadelholz war bei ungeschädigten Holzproben die Jahrringabfolge deutlich (Abbildung 34 und 35). Bei den Laubholzarten bestanden Unterschiede. Während bei der Eiche, als ringporige Holzart, die Jahrringgrenze deutlich angezeigt wurde, war bei der zerstreutporigen Rotbuche die Erkennung der Jahrringfolge im Bohrprofil teilweise schwierig (Abbildung 36 und 37).

Der dimensionslose mittlere Bohrwiderstand für die ungeschädigten Kontrollproben lag für die Holzart Fichte bei 150 bis 250, für Kiefer bei 200 bis 250, für Eiche bei 550 bis 750 und für Rotbuche bei 550 bis 650.

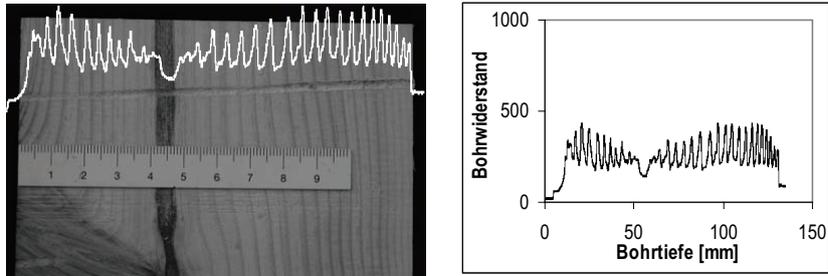


Abbildung 34: Holzoberfläche (Längsschnitt) ungeschädigter Kiefer (*Pinus sylvestris*) mit zugehörigem Bohrwiderstandsprofil (links) und Bildanalyseprofil (rechts); die Jahrringabfolge ist deutlich erkennbar, die mittige Markröhre wird durch ein niedriges Dichteniveau angezeigt, mittlerer Bohrwiderstand bei 250

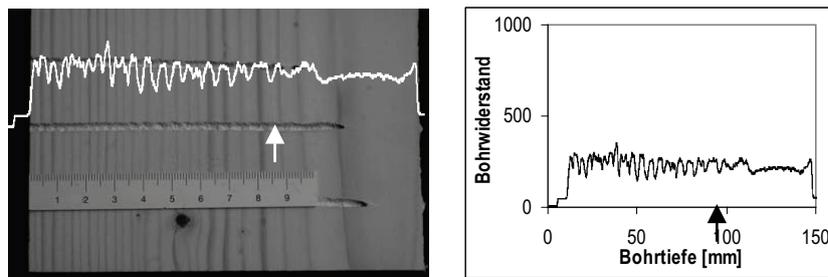


Abbildung 35: Holzoberfläche (Längsschnitt) ungeschädigter Fichte (*Picea abies*) mit zugehörigem Bohrwiderstandsprofil (links) und Bildanalyseprofil (rechts); die Frühholz (hell)-Spätholz (dunkel)-Abfolge (Pfeil) markiert sich als Dichteschwankung, mittlerer Bohrwiderstand bei 250

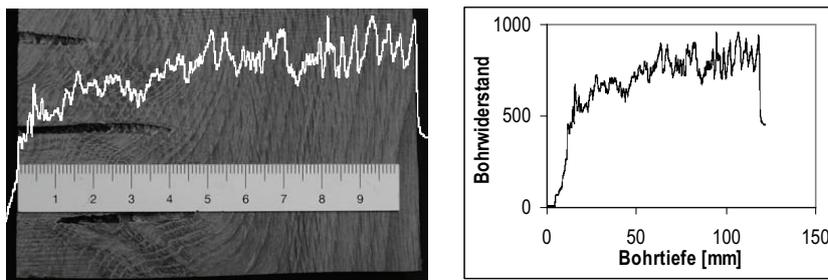


Abbildung 36: Holzoberfläche (Längsschnitt) ungeschädigter Eiche (*Quercus* sp.) mit zugehörigem Bohrwiderstandsprofil (links) und Bildanalyseprofil (rechts); die Jahrringerkennung ist deutlich, mittlerer Bohrwiderstand bei 700

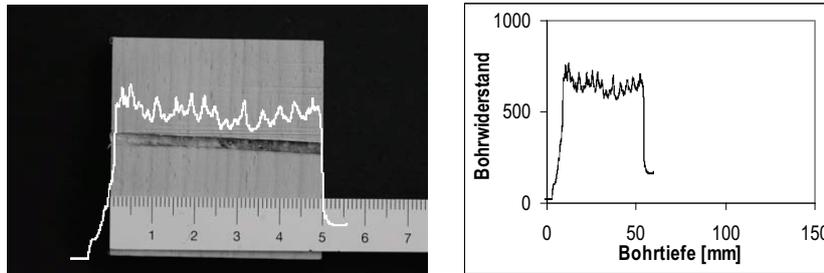


Abbildung 37: Holzoberfläche (Längsschnitt) ungeschädigter Rotbuche (*Fagus sylvatica*) mit zugehörigem Bohrwiderstandsprofil (links) und Bildanalyseprofil (rechts); die Jahrringerkennung ist teilweise unscharf, mittlerer Bohrwiderstand bei 600

Zusammenhang zwischen Schlupflochanzahl und Einbrüchen im Bohrprofil

An den Prüfflächen der insektenbefallenen Hölzer wurde die Schlupflochanzahl an der Holzoberfläche erfasst. Um zu prüfen, ob die Anzahl erkennbarer Fraßgangeinbrüche im Bohrprofil von der Anzahl der Schlupflöcher der Insekten auf der Holzoberfläche abhängt, wurde untersucht, ob ein linearer Zusammenhang besteht. Holzartenspezifisch wurde der Zusammenhang zwischen der Schlupflochanzahl an der Holzoberfläche und den Einbrüchen im Bohrprofil mit Hilfe des Korrelationskoeffizienten r nach PEARSON, der Wurzel aus dem Bestimmtheitsmaß R^2 , berechnet (Tabelle 34).

Tabelle 34: Korrelationskoeffizienten und Überschreitungswahrscheinlichkeiten unter der Nullhypothese zur Veranschaulichung des Zusammenhangs zwischen Schlupflochanzahl der Schadinsekten an der Holzoberfläche und Anzahl der Einbrüche im Bohrprofil für die Holzarten Fichte, Kiefer, Eiche und Rotbuche

Holzart	Anzahl der Wiederholungen N	Korrelationskoeffizient r	Überschreitungswahrscheinlichkeit p
Fichte	67	0,1193	0,3363
Kiefer	173	0,3535	<0,0001
Eiche	82	0,3471	0,0014
Rotbuche	54	0,1313	0,3438

Als statistisch von Null verschieden kann der Zusammenhang auf dem Signifikanzniveau $\alpha = 0,05$ für Eiche ($p = 0,0014$) und Kiefer ($p < 0,0001$) gezeigt werden. Das sind allerdings die Holzarten mit der höchsten Anzahl von Wiederholungen. Für Fichte und Rotbuche kann kein signifikanter Unterschied nachgewiesen werden.

3.3.2 Nachweis von Insektenschäden mit dem Ultraschallechoverfahren

Die Untersuchungen zeigten, dass bestimmte Insektenschäden mit dem Ultraschallechoverfahren unter Verwendung von Transversalwellen (55 kHz) detektiert werden können. Beeinflussende Faktoren waren die Bauteilabmessungen, Rissbildungen im Holzbauteil, die Insektenart und deren Fraßdichte. Während ungeschädigte Holzbauteile an der Rückseite des Bauteils (Bauteilgrenze) eine Reflexion der Schallwelle aufwiesen (Abbildung 38), kam es artspezifisch bei insektengeschädigtem Holz zu einer Abschattung der Bauteilrückwand (fehlendes Rückwandecho des Bauteils).



Abbildung 38: Laufzeit/Intensitäts-Bild (A-Bild), Laufzeitkurve an einem Punkt einer ungeschädigten Kieferprobe (10 cm dick) mit deutlichem Rückwandecho und Vielfachecho der Rückwand [Geräteausdruck BAM]

Für die Zuordnung der nachfolgenden Laufzeit-/Intensitätsbilder (A-Bild) bzw. dem 2-dimensionalen Längsschnitt (B-Bild) wurden die Messpunkte bzw. die Messachse am untersuchten Holzbauteil mittels Pfeil markiert.

Gewöhnlicher Nagekäfer (*Anobium punctatum*)

Die Fraßgänge der Insektenlarven waren in der Signalstruktur durch Abschattung der Rückwandechos erkennbar. Eine Lokalisierbarkeit von Fraßschäden im Holzkörper war durch die Untersuchung entlang einer Messlinie mit geringen Messpunktabständen gegeben (Abbildung 39).

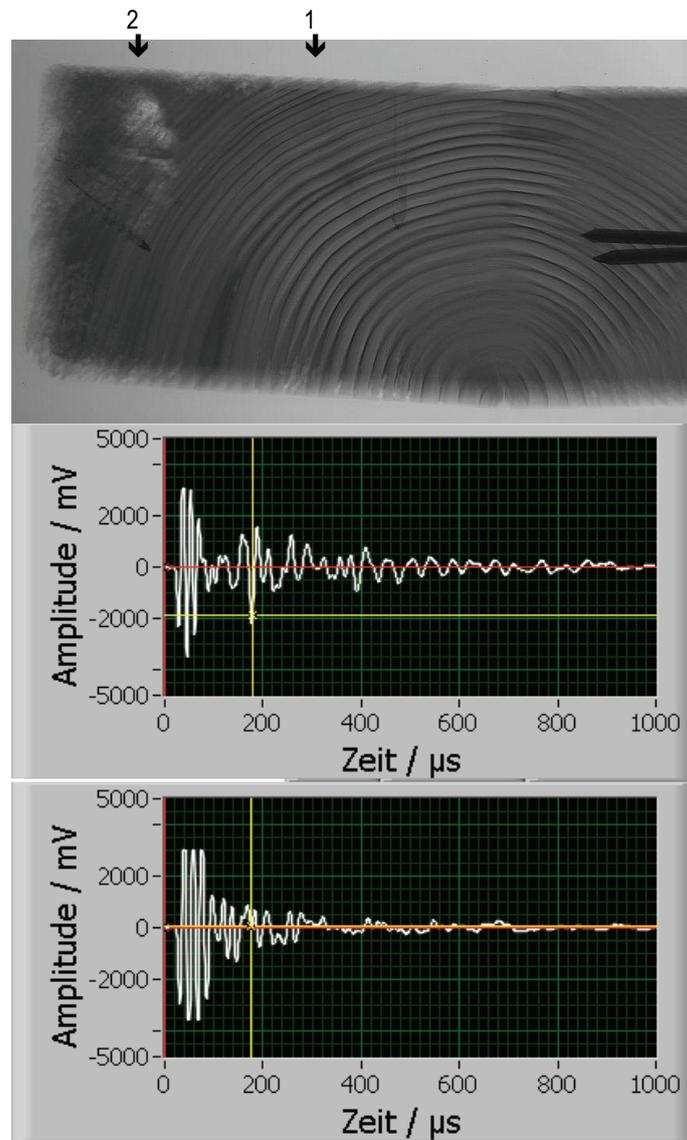


Abbildung 39: Röntgenaufnahme (Foto OSTERLOH) eines Kantholzes aus Fichte mit Fraßschäden durch *Anobium punctatum* im äußeren Randbereich (oberes Bild) und Laufzeitkurven (A-Bilder) an 2 Messpunkten; Punktmessung 1 im Bereich der ungeschädigten Holzsubstanz mit Rückwandecho (mittleres Bild) und Punktmessung 2 im insektengeschädigten Randbereich des Holzkörpers mit fehlendem Echo (unteres Bild) [Geräteausdruck BAM]

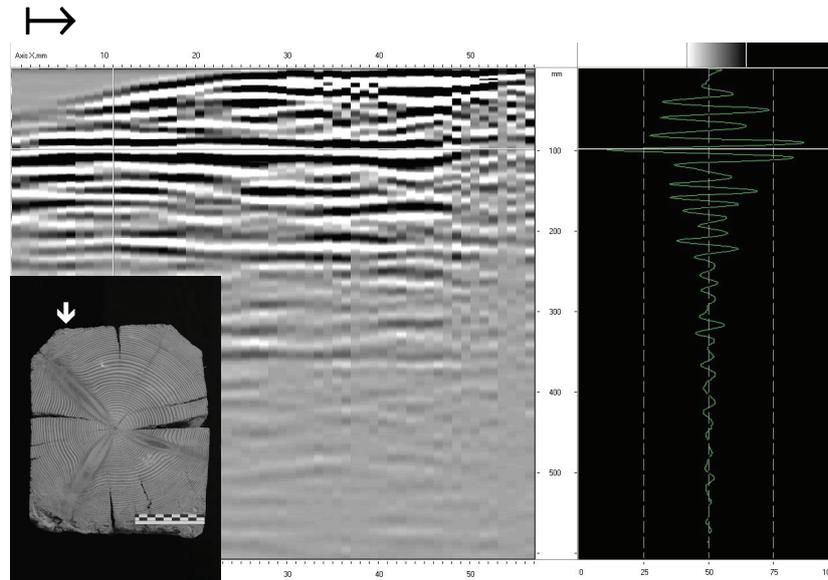


Abbildung 40: Deckenbalken aus Lärche mit Insektenschäden an der Balkenunterseite und stärkeren Schwindrissen an der Balkenlängsseite (kleines Bild) sowie gemessenes B-Bild (links) und A-Bild (rechts); der Schwindriss in der Hälfte des Bauteilquerschnitts bei 100 mm führte zur Totalreflexion und verhindert die Detektion des Fraßschadens an der Balkenunterseite, der Ast führte zur Streuung der Schallsignale (Streukörper), die am Anfang fehlenden Oberflächenwellen im B-Bild (oben links) waren die Folge einer Dämpfung zwischen Sender und Empfänger (der Pfeil zeigt die Messrichtung an) [Geräteausdruck LGA]

Bei großen Rissbildungen im Holz kam es wie an der Bauteilrückwand zur Totalreflexion der Schallwellen. Der Bereich hinter dem Riss konnte nicht mehr auf Schäden untersucht werden (Abbildung 40).

Nur vereinzelte lokale Fraßschäden von Insektenlarven im Holz führten zur Dämpfung des Signals, löschten es aber nicht aus und ermöglichen damit keine Detektion des Fraßschadens.

Gescheckter Nagekäfer (*Xestobium rufovillosum*)

Die Fraßschäden des Insekts wurden durch eine Abschattung der Bauteilrückwand angezeigt. Bei einem gleichzeitigen Befall des Holzes durch Braunfäulepilze und durch das Insekt, konnte zwischen dem Pilzbefall und dem Fraßschaden durch das Insekt nicht unterschieden werden. Die biotische Schädigung wurde durch das fehlende Rückwandecho angezeigt (Abbildung 41).

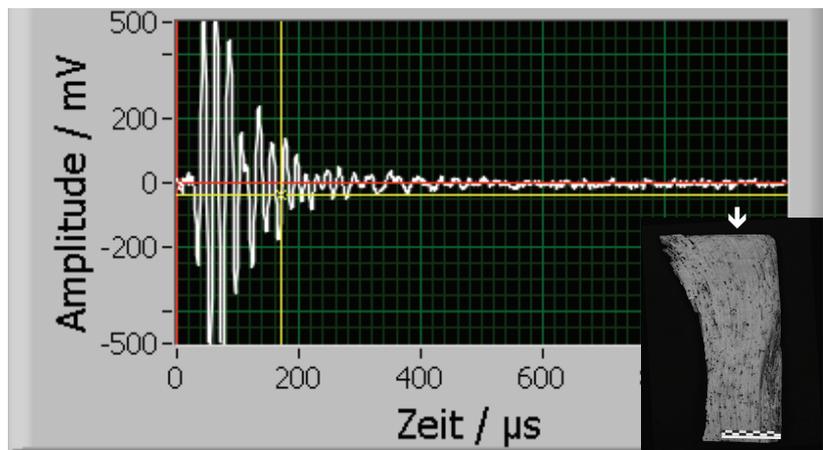


Abbildung 41: Eichenprobe mit Fraßschäden durch *Xestobium rufovillosum* (kleines Bild) und gemessene Laufzeitkurve (A-Bild); das fehlende Rückwandecho zeigt den Fraßschaden im Holzkörper an [Geräteausdruck BAM]

Gekämmter Nagekäfer (*Ptilinus pectinicornis*)

Messungen an Rotbuche mit einem starken Befall durch diese Spezies zeigten ein sehr differenziertes Bild. An Holzkörpern die über den gesamten Querschnitt relativ einheitlich von Fraßgängen durchzogen waren, konnten einerseits Schallwellen an der Bauteilrückseite als Echo reflektiert werden und andererseits kam es zu einer Abschattung, die eine Schädigung signalisierte. Trotz starker Insektenschädigung wurde oft ein klares Echo empfangen. Die Abbildung 42 zeigt in der Gegenüberstellung je eine Laufzeitkurve mit und ohne Rückwandecho bei annähernd gleicher Holzschädigung durch das Insekt im Kantholz.

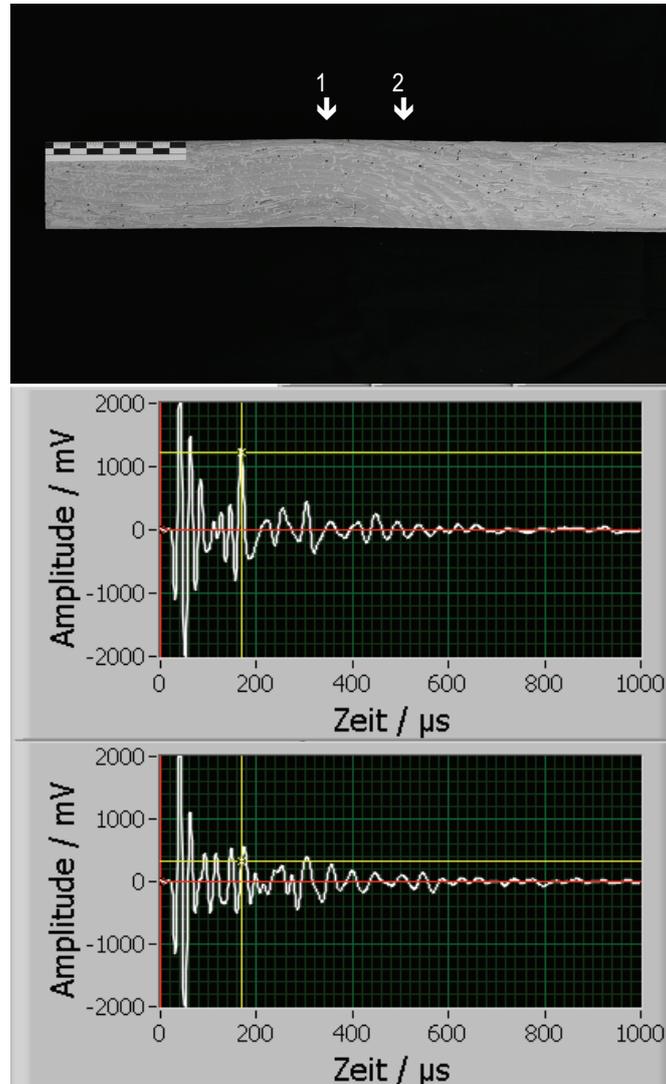


Abbildung 42: Kantholz mit starken Fraßschäden im gesamten Holzquerschnitt durch *Ptilinus pectinicornis* (oberes Bild) und Laufzeitkurven (A-Bilder) an 2 Messpunkten; Messpunkt 1 mit deutlichem Echo (ohne Vielfachecho) an der Bauteilrückwand trotz Fraßschaden (mittleres Bild), Messpunkt 2 mit fehlendem Echo durch Dämpfung der Amplitude bei annähernd gleicher Fraßschädigung wie am Messpunkt 1 (unteres Bild) [Geräteausdruck BAM]

In Abbildung 43 wird die Messung entlang des insektengeschädigten Holzkörpers als B-Bild wiedergegeben. Obwohl starke Fraßschäden vorlagen wurde ein klares Echo empfangen. Der Ast führte zu einer Dämpfung des Signals und schattete das Rückwandsignal ab. Eine Unterscheidung zwischen Ast und Fraßschaden war nicht möglich.

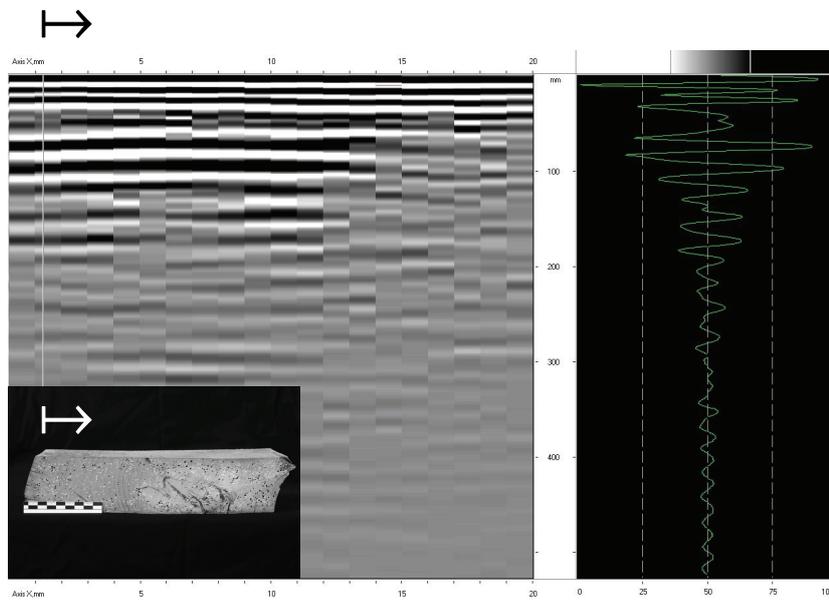


Abbildung 43: Holzkörper aus Rotbuche mit starkem Befall durch *Ptilinus pectinicornis* (kleines Bild) und gemessenes B-Bild (links) einschließlich A-Bild (rechts); klares Rückwandecho trotz starker Fraßstrukturen vom linken Rand bis zur Mitte des Kantholzes im B-Bild, fehlendes Echo im Astbereich des Holzkörpers durch Abschattung der Rückwand (der Pfeil zeigt die Messrichtung an) [Geräteausdruck LGA]

Eine Unterscheidung zwischen einem aktiven und einem erloschenen Befall durch Holzinsekten war mit dem Ultraschallechoverfahren nicht möglich. Es können nur Fraßschäden als Hohlraum im Holz und keine lebenden Tiere erfasst werden. Der Nachweis oberflächennaher Insektenschäden war nicht möglich. Bedingt durch Oberflächenwellen, die sich auf der Holzoberfläche ausbreiten, kam es zu einer toten Prüfzone.

Ein Teil der Untersuchungsergebnisse wurde bereits publiziert (HAUSTEIN et al. 2007 c)

4 Diskussion

4.1 Monitoring der Schädlinge und ihrer natürlichen Feinde

Der Schlüssel zum Erfolg eines integrierten Ansatzes im Holzschutz besteht in einem gutem Überwachungssystem. Zum Nachweis von Holzschädlingen und deren natürlicher Feinde eignen sich Papierabklebungen, Klebefallen und Aufsammlungen. Es ist möglich mit diesen Methoden Schädlinge im Bauwerk ausfindig zu machen und Schädlingspopulationen zu überwachen. Die Bekämpfungsmaßnahme kann so, auf der Grundlage der Befallsituation, den Schädlingen angepasst werden.

Papierabklebung

Mit der Methode der Papierabklebung sind Schlupfbeginn, -dauer und Anzahl der schlüpfenden Organismen exakt erfassbar. Beim Schlupf adulter Tiere hinterlassen sie ein Ausschluflloch im Holz. Mit der Anordnung von Papier auf der Holzoberfläche werden die Ausschluflöcher auch in der Papierschicht abgebildet. Jede Spezies hinterlässt ein charakteristisches Schlupfloch. Damit lassen sich anhand der im Papier erzeugten Schlupflöcher die wichtigsten Arten der Holzschädlinge und ihrer natürlichen Feinde erfassen. Eine Artunterscheidung kann ohne das Abfangen der Tiere erfolgen. Ein Markieren der Schlupflöcher im zeitlichen Intervall ermöglicht Rückschlüsse auf die Schlupfdynamik (NOLDT 2007).

Ein Nachweis der Mehrfachnutzung von Ausschluflöchern war für den Gescheckten Nagekäfer (*Xestobium rufovillosum*) und den Gewöhnlichen Nagekäfer (*Anobium punctatum*) möglich. RIDOUT (2001) und NOLDT (2007) beobachteten ebenfalls beim Gescheckten Nagekäfer eine Mehrfachnutzung des Schlupfloches. Die Mehrfachnutzung ist von praktischer Bedeutung, denn alt erscheinende Ausschluflöcher an der Holzoberfläche könnten auf eine Befallsfreiheit schließen lassen, die real nicht besteht. Durch die Anwendung der Papierabklebung lassen sich Fehleinschätzungen minimieren.

Prädatoren können eine Abnahme der Häufigkeit ihrer Beute verursachen (TOWNSEND et al. 2002). Damit wären Gebäude mit dem kleinsten Räuber-Beute-Verhältnis am wenigsten durch den Schädling gefährdet. Die Anwendung der Abklebungsmethode über mehrere Generationsfolgen lässt vermuten, dass Häufigkeitsschwankungen, welche die zeitliche Verzögerung zwischen der Räuber- und Beutepopulation vereinfacht charakterisieren, als Abbildung des Populationszyklus gesehen werden können. Mit der Papierabklebung konnten Räuber-Beute-Zahlenverhältnisse erfasst werden. Die festgestellten Räuber-Beute-Zahlenverhältnisse lagen bei 1 : 56 bzw. 1 : 67. Sie unterscheiden sich stark von der Klebefalle mit 1 : 3,5 bzw. 1 : 3. Da das Zahlenverhältnis beider Methoden für die Untersuchungsjahre ähnlich war, kann ein Eindringen von Räufern aus dem Freiland in das Bauwerk vermutet werden. Diese von außen eindringende Räuber wurden mit der Klebefalle, nicht aber mit der Papierabklebung erfasst.

Von den Zielarten des Projektes schlüpfte der Gescheckte Nagekäfer als erstes. Sein Schlupfzeitpunkt im Gebäude von April bis Juni mit einem Hauptschlupf im Mai entspricht weitgehend den Angaben aus Großbritannien. FISHER (1938) nannte einen Hauptschlupf im späten April bis zum Beginn des Mai, HICKIN (1963) für Ende April und RIDOUT (2001) einen Höhepunkt im Mai. Der zeitliche Unterschied von ungefähr zwei Wochen zu den Untersuchungen von NOLDT (2007) im Freilichtmuseum Detmold, der den Hauptschlupf dieser Art für Mitte April auswies, wird in den schlupfstimulierenden Temperaturbedingungen gesehen, die in der küstennahen Region Mecklenburgs später als im Binnenland erreicht werden. Da die Körpertemperatur der Insekten ungefähr der Umgebungstemperatur entspricht, sind sie Schwankungen ihrer Körpertemperatur ausgesetzt (ZIEGLER 2003). Die von FISHER (1938) aufgezeigte Temperaturabhängigkeit für das Einsetzen des Käferschlupfes dieser Art konnte mit dem Erreichen von > 10 bis 12 °C Lufttemperatur bestätigt werden. Das Schlüpfen des räuberischen Weichen Buntkäfers (*Opilo mollis*) zum gleichen Zeitpunkt wie seine Beute stellte eine gute zeitliche Synchronisation dar.

Bei der Auswertung der Papierabklebungen fiel für die Buntkäfer eine deutlich größere Anzahl von Fraßlöchern der Larven im Vergleich zu den Imagines auf. Diese Tendenz bestand für beide Jahre. Über die Schlupflöcher ihrer Beutetiere kamen die Buntkäferlarven auf die Holzoberfläche. Dabei waren alle vier nachgewiesenen Arten in der Lage, das angebrachte Papier zu zerfressen. Bereits STEINER (1938) und BECKER (1954) beobachteten, dass Larven vom Hausbuntkäfer (*Opilo domesticus*) bzw. vom Blauen Fellkäfer (*Korynetes caeruleus*) Holz durchnagen können. Die Ursache für das Erscheinen der Larven auf der Holzoberfläche ist unbekannt. Es ist jedoch zu vermuten, dass sie neue Nahrungsplätze suchen.

Die Aktivität der Buntkäferlarven auf der Holzoberfläche wurde durch deren Bewegungsspuren im ausgestoßenen Bohrmehl deutlich. Der Auswurf von Bohrmehl durch die Buntkäferlarven ist das Ergebnis ihrer Suche nach Beute. Aufgrund der festgestellten Mobilität der Larven, die nach der winterlichen Diapause vermehrt auf der Holzoberfläche erscheinen, sollten Larvenfraßlöcher nicht zur Bewertung der relativen Häufigkeit herangezogen werden, da eine Larve auch mehrere Fraßlöcher erzeugen kann. Es ist zu vermuten, dass die Anzahl von Buntkäferlarven im Holzkörper geringer ist, als durch die Anzahl an Fraßlöchern angezeigt wird. Unterstützt wird diese Aussage durch Beobachtungen von BECKER (1942, 1954) zum Kannibalismus bei Larven, die nach Ansicht des Autors bei Nahrungsknappheit auftritt und damit ihre Anzahl verringert. Kannibalismus unter Larven wurde auch für den im Wald vorkommenden Ameisenbuntkäfer (*Thanasimus formicarius*) nachgewiesen (ECKSTEIN 1921, GAUSS 1954). Nach BERRYMAN (1966) sichert kannibalistisches Verhalten, welches er für die nearktische Buntkäferart *Enoclerus lecontei* beschrieb, das Überleben der Räuberart bei geringer Beutedichte. Sobald die Beute jedoch häufig ist, wird der Effekt auf die Population der Prädatoren als gering eingeschätzt.

Der Schwarzflügelige Holzbuntkäfer (*Tillus elongatus*) und der Hausbuntkäfer (*Opilo domesticus*) wurden als Imago nicht mit der Methode der Papierabklebung im Bauwerk nachgewiesen. Deren Vorkommen wurden in geringer Anzahl durch den Fang mit der Klebefalle

oder durch Aufsammlung belegt. Die Schlupfzeit vom Hausbuntkäfer lies sich aufgrund der geringen Fundanzahl nicht genau ermitteln. Ein Schlupf im Juli ist nach den vorliegenden Funddaten wahrscheinlich. Auch wiesen STEINER (1938) und BECKER (1942) darauf hin, dass der Hausbuntkäfer nicht nur den Larven sondern auch den im Sommer schlüpfenden Imagines vom Gewöhnlichen Nagekäfer nachstellt. Da sich ein Nachweis dieser Art ausschließlich auf Gebäude mit einem Befall durch den Gewöhnlichen Nagekäfer beschränkt, kann eine Bevorzugung dieser Beutearart vermutet werden.

Der begrenzte Nachweis vom Schwarzflügeligen Holzbuntkäfer kann vermutlich auf eine eingeschränkte Anzahl von Beutetieren oder auf die Seltenheit der Art zurück geführt werden. Es wurde beobachtet, dass die Imagines dieser Art adulte Gekämmte Nagekäfer (*Ptilinus pectinicornis*) fressen. Da der Räuber zusammen mit seiner Beute schlüpfte, stand ihm ausreichend Nahrung zu Verfügung. Die Bevorzugung vom Gekämmten Nagekäfer erwähnte bereits KEMNER (1915). Das im Vergleich zu den anderen Prädatorenarten in der Zucht mit 1 : 2,2 nachgewiesene Räuber-Beute-Verhältnis lässt vermuten, dass sein Vorkommen aggregiert ist oder die Dichte des Prädators mit der Beutedichte ansteigt.

Zusätzlich zu den Buntkäfern konnten auch parasitoide Wespen als natürliche Feinde mit der Papierabklebung nachgewiesen werden. Bei den stichprobenartig abgefangenen Tieren handelte es sich um die Art *Spathius exarator* (LINNAEUS). Die in den Untersuchungsobjekten ermittelte Flugzeit der Imagines von Mai bis September wurde bei LYNGNENS (1956) beschrieben. Diese Brackwespe (Braconidae), die zur Unterfamilie Doryctinae gehört (SHAW & HUDDLESTON 1991), bezeichnete BECKER (1942, 1950) als den wichtigsten Parasitoiden für den Gewöhnlichen Nagekäfer. Mit ihrem Legebohrer durchsticht sie das Holz und parasitiert die unter der Holzoberfläche befindliche Schädlinglarve. Begrenzt durch die Länge des Legebohrers mit ungefähr 7 mm werden nur Larven unmittelbar unter der Holzoberfläche erreicht. Die Größe des Wespenschlupfloches entspricht ungefähr dem eines Nadelstiches. Daher bedarf es einer sorgfältigen Prüfung der Abklebungsflächen, um diese Schlupflöcher auch zu erfassen. Bedingt durch den wesentlich dünneren Ovipositor im Vergleich mit dem Thorax von ca. 1 : 5, waren eventuelle Einstichlöcher des Legebohrers im verwendeten Papier nicht zu detektieren. Dass ein zur Eiablage bereites Wespenweibchen durch Papier und Leimschicht am Einbohrvorgang gehindert wird, sobald eine Wirtslarve lokalisiert wurde, ist nicht zu erwarten, denn es werden auch Schädlinglarven in farblich gefassten Objekten parasitiert. Dennoch kommt es durch die aufgebrachte Schichtstärke von Papier und Leim, mit ungefähr 1 mm Dicke, zu einer Reduzierung der möglichen Einbohrtiefe in das Holz. Um beurteilen zu können, ob Papierabklebungen die Wirtsfindung beeinflussen, muss das Wirtsfindungsverhalten des Parasitoiden bekannt sein. So gibt es Parasitoide, die ihre Wirte durch entweichende Geruchsstoffe aus dem Kot finden, aber auch solche, die nicht auf den Geruch des Wirtskotes reagieren (STEIDLE et al. 1997, 2000). Für die Wespenweibchen von *Spathius exarator* ist das Wirtsfindungsverhalten bisher unbekannt (STEIDLE, pers. Mit.).

Zusätzlich zu *Spathius exarator* wurde noch eine weitere Brackwespenart nachgewiesen. Es handelt sich um die ektoparasitoide Wespe *Hecabolus sulcatus* CURTIS, die gleichfalls

zur Unterfamilie Doryctinae gehört. Ihr Nachweis erfolgte in Rotbuchenholz mit einem Befall durch den Gekämmten Nagekäfer. Für diese Nagekäferart erwähnten RATZBURG (1848), FISCHER (1965) und SHENEFELT & MARSH (1976) *Hecabolus sulcatus* als häufigen Parasitoiden. Eine Spezialisierung der Art auf diesen Wirt konnte somit bestätigt werden. Eine solche Wirtsspezifität wäre bei einer biologischen Bekämpfungsstrategie zu berücksichtigen, wenn Schädlingkomplexe vorkommen. Daher schlugen PRESS et al. (1982) für eine biologische Regulierung von Schädlingpopulationen eine Kombination von Parasitoiden und Räubern vor. Mit dem Nachweis des natürlichen Vorkommens von *Hecabolus sulcatus* zusammen mit *Tillus elongatus* sowie von *Spathius exarator* mit *Korynetes caeruleus* wurde diese Aussage unterstützt.

Klebefallen

Nicht immer sind Bauwerke zugänglich, um Papierabklebungen anbringen zu können. Auch ist insbesondere im Denkmalsbereich und bei der Konservierung von Kunst- und Kulturgut die Verträglichkeit auf farblich gefassten Oberflächen zu berücksichtigen (DROPMANN et al. 2007). Für diese Anwendungsfälle sind Klebefallen ein weiteres Monitoringinstrument, weil diese ohne direkte Befestigung am Holzbauteil eingesetzt werden können. Im Vorratsschutz sind Fallen, insbesondere Pheromonfallen (PLARRE 1998), ein gefestigter Bestandteil im integrierten Früherkennungskonzept (REICHMUTH, pers. Mit.).

Fallen können zur Beurteilung der Artenvielfalt in einem Habitat genutzt werden (HAGSTRUM et al. 1990, ØKLAND 1996). Wird eine Falle hingegen zur Überwachung und Detektion eines bestimmten Insekts eingesetzt, sollte der Anteil an Beifängen gering sein. Die durchgeführten Untersuchungen im Bauwerk mit unbeköderten Klebefallen zeigten, dass die Anzahl gefangener Nicht-Ziel-Arthropoden stets größer war als die der Schädlinge. Eine Reduzierung in der Anzahl gefangener Insektenindividuen erfolgte durch schützende Maßnahmen, indem die Klebefallen mit Maschendrahtgewebe bzw. mit Folie umhüllt wurden. Dabei zeigte der Vergleich beider Jahre, dass die Anzahl gefangener Buntkäfer und parasitoider Wespen sich im ähnlichen Verhältnis erhöhte, wie die Anzahl an Nagekäfern bei gleichzeitiger Verringerung des Beifanges sonstiger Insekten. Damit war keine Beeinträchtigung der Falleneffektivität hinsichtlich der Zielorganismen durch die Schutzmaßnahmen zu beobachten.

Im Bauwerk angeordnete Klebefallen können für Wirbeltiere eine Gefahr darstellen (HANSEN 1998). Besonders Fledermäuse nutzen historische Bauwerke, zum Beispiel als Wochenstubenquartiere während des Sommers. Berühren die Tiere die Klebeflächen, weil sie durch gefangene Insekten angelockt werden, können sie sich nicht mehr befreien und verenden. Daher müssen Klebefallen vor einen Kontakt mit Wirbeltieren geschützt werden. Das eingesetzte Maschendrahtgewebe bewährte sich als Schutzmechanismus an liegenden und hängenden Fallen für diese Tiergruppe.

Um durch die Fallenmethode auf die Befallsdichte zu schließen, muss die Fallenwirksamkeit berücksichtigt werden. Die Untersuchungen zur Temperatur zeigten, dass Umweltfaktoren die Falleneffektivität beeinflussen. Die im Holzschutz relevanten Nagekäferarten sind flugfähig.

Untersuchungen von BAKER (1964) mit dem Gescheckten Nagekäfer wiesen auf eine Abflugtemperatur von über 22 °C hin, wobei nach seinen Beobachtungen frisch geschlüpfte Männchen und Weibchen nach der Eiablage die höchste Flugbereitschaft aufweisen. BELMAIN et al. (1999) fingen Käfer der Art ab einer Temperatur > 17 °C, wobei zwischen 24 °C und 27 °C die meisten Tiere im Bauwerk gefangen wurden. Für den Gewöhnlichen Nagekäfer erwähnte CYMOREK (1968) eine Temperatur um 20 °C bei größerer Flugbereitschaft im Vergleich zum Gescheckten Nagekäfer. Die in den Untersuchungsgebäuden gemessene mittlere Raumlufttemperatur lag zum Zeitpunkt des Hauptschlupfes vom Gewöhnlichen Nagekäfer bei 22 °C. Damit war die Temperatur ausreichend für den freien Flug des Insekts und ein Fang mit der hängend angeordneten Klebefalle war möglich. Die Ergebnisse zeigten, mit Ausnahme von zwei Exemplaren des Gescheckten Nagekäfers, dass mit der hängend angeordneten Klebefalle nur Gewöhnliche Nagekäfer gefangen wurden. Zum Schlupfzeitpunkt des Gescheckten Nagekäfers im Mai betrug die mittlere Raumlufttemperatur 13,3 °C und lag damit unterhalb der Grenztemperatur für einen freien Flug dieser Art. Dass dennoch zwei Imagines der Art gefangen wurden, ist vermutlich auf eine bauwerksspezifische Situation zurück zu führen, da die beiden Tiere in Kirchendachstuhl (Bauwerk 21) gefangen wurden, der wesentlich größere Temperaturschwankungen als der massive Baukörper aufwies. Daraus folgernd besteht für den Einsatz der hängenden Klebefalle eine Klimaabhängigkeit, die ab einer Lufttemperatur im Bauwerk von 20 °C den Nachweis vom Gewöhnlichen Nagekäfer mit dieser Methode ermöglicht, während sie für den Gescheckten Nagekäfer temperaturbedingt kaum angewendet werden kann.

Die Untersuchungen zur Flugbereitschaft des Blauen Fellkäfers wiesen im Vergleich zu den Nagekäfern auf einen höheren Temperaturanspruch hin. Die ermittelte Abflugtemperatur oberhalb von 26 °C wird im Bauwerk nur selten erreicht. Der festgestellte Abflug der Käfer bei niedrigeren Lufttemperaturen aber direkter Besonnung wird auf eine erhöhte Temperatur des Abflugortes durch Sonneneinstrahlung zurück geführt. Ein schnelles Öffnen der Flügeldecken bei vollem Sonnenschein wurde durch Beobachtungen von WINKLER (1961) besonders für die Unterfamilie Korynetinae bestätigt. Der nur niedrige Anteil gefangener Buntkäfer mit der hängend angeordneten Klebefalle wird in diesem hohen Temperaturanspruch gesehen. Im sakralen Bauwerk werden Temperaturen > 26 °C im Allgemeinen nicht erreicht, wie die Messergebnisse zeigten. Eine Besonnung des Innenraumes ist bedingt durch die Architektur selten. Die maximal gemessenen Raumlufttemperaturen in den Bauwerken in einer Spanne von 21,3 °C bis 29,4 °C wurden nur kurzzeitig erreicht.

Um Holzschädlinge zu fangen und Beifänge anderer Arten zu reduzieren, ist in die Anordnung und die Farbigkeit der Klebefalle zu unterscheiden. Dem Schutz von Nützlingen, als wichtigen Bestandteil der integrierten Schädlingsbekämpfung, kommt eine besondere Bedeutung zu, denn für die auf die Klebefalle gelangten Individuen gibt es kein Entrinnen mehr. Besonders kriechende Nicht-Ziel-Arthropoden und Spinnentiere, wurden neben dem Verschmutzungs- und Beschädigungsrisiko, bei horizontal ausgelegten Klebeflächen gefangen. Der hohe Anteil gefangener Buntkäfer mit einem Räuber-Beute-Verhältnis bis 1 : 3 auf horizontal ausgelegten Klebefallen zeigte, dass für eine Schonung der Nützlinge horizontale Fallenordnungen nicht geeignet sind. Mit der hängenden Variante lässt sich deren Beifang verhindern, da nur flie-

gende Individuen gefangen wurden. Die Untersuchungen zeigten, dass mit hängend im Raum angeordneten Fallen weniger Individuen als mit liegend im Raum platzierten Klebeflächen gefangen wurden, bei annähernd gleicher Anzahl gefangener Anobiidae. Zugleich zeigten die Untersuchungen, dass auch die Farbigekeit der Falle eine Rolle spielt. Die größte Anzahl von Nagekäfern wurde mit der hängend angeordneten Klebefalle im Farbton Weiß gefangen, Buntkäfer hingegen nicht. Damit war die weißfarbige, hängend angeordnete Klebefalle für den Nachweis des Gewöhnlichen Nagekäfers am geeignetsten, bei gleichzeitigem Schutz prädativischer Buntkäfer. Die Attraktivität von Weiß gegenüber den Farben Rot, Gelb und Blau zeigen auch Untersuchungen von BELMAIN et al., 1999 und SIMMONDS et al., 2001 für den Gescheckten Nagekäfer.

Wenngleich der durchgeführte χ^2 -Test auf keinen Zusammenhang in der Anordnung der Falle und deren Farbigekeit für Fänge der Buntkäfer hinweist, kann die Ursache dafür auch in der geringen Populationsgröße des Prädators liegen. Unabhängig davon wurde nachgewiesen, dass mit der hängenden Klebefalle keine Larven der Buntkäfer gefangen wurden und damit dieses Entwicklungsstadium geschützt ist. Ein Fangen parasitoider Wespen hingegen lässt sich nicht vermeiden. Die im Hochsommer schwärmenden Tiere blieben bei Fallenkontakt auf der Klebefläche haften.

Um einen Zusammenhang zwischen Klebefalle und Papierabklebung für die Zielorganismen zu beschreiben wurden Maßzahlen ermittelt, da die Höhe des Zusammenhanges entscheidend ist, während die Aussagen zur Signifikanz sich nur auf das Testen der Nullhypothese ($H_0: \rho = 0$) gegen die Alternativhypothese ($H_A: \rho > 0$) beziehen. Ein Zusammenhang zwischen beiden Methoden war mit über 61 % für den Gescheckten Nagekäfer am größten. Daher besteht nur für diese Spezies die Tendenz, dass Papierabklebung und Klebefalle zum gleichen Ergebnis führen. Ein Zusammenhang von 43 %, wie er für den Gewöhnlichen Nagekäfer ermittelt wurde, kann trotz Signifikanz nicht erwartet werden und ist für die Buntkäfer (36 %) noch unwahrscheinlicher. Damit zeigte sich, dass entomologische Kenntnisse als Grundvoraussetzung für ein erfolgreiches Monitoring notwendig sind, um zielgerichtet Prüfflächen auswählen zu können. Die Aussage zur Befallssituation im Bauwerk wird verbessert, je mehr Fallen oder Papierabklebungen eingesetzt werden. Auch für den Bereich des Vorratsschutzes wird durch Hagstrum et al. (1990) empfohlen, die Fallenzahl zu vergrößern um die Wahrscheinlichkeit zu erhöhen, Insektenpopulationen zu detektieren.

Die Interpretation des Fallenfanges erweist sich häufig als schwierig, denn mit Klebefallen wird nur das Imaginalstadium und nicht das den ökonomischen Schaden verursachende Larvenstadium gefangen. Daher werden Fallen benötigt, die Schädlingpopulationen unter Berücksichtigung des nicht gefangenen Jugendstadiums vorhersagen (HAGSTRUM et al. 1990). Aufgrund der wesentlich längeren Generationsdauern von Holzschädlingen im Vergleich zu Vorratsschädlingen ist für den Holzschutz nicht zu erwarten, dass Fallen für die Vorhersage von Populationszuwächsen genutzt werden können. Es werden nur Abschätzungen möglich sein, die auf dem gefangenen Geschlechterverhältnis und der üblichen Eizahl eines Weibchens unter Beachtung der natürlichen Eimortalität basieren.

Im Vorratsschutz überwiegen Pheromonfallen, da für nahezu alle ökonomisch wichtigen vortratsschädlichen Insekten deren Pheromon identifiziert ist (PLARRE 1998). Im Holzschutz wurden Pheromone bisher kaum eingesetzt und es liegen nur relativ wenige Untersuchungsergebnisse vor (z. B. PINNIGER & CHILD 1996). Dies kann in der Verfügbarkeit von Lockstoffen aber auch in deren Auswirkung auf Nützlinge begründet liegen. Pheromone sind für den Gewöhnlichen Nagekäfer (WHITE & BIRCH 1987, SCHULZE et al. 2005) und den Hausbockkäfer (SCHRÖDER et al. 1994, NOLDT et al. 1995, REDDY et al. 2005) bekannt, während für den Gescheckten Nagekäfer ein Pheromon fehlt. Die Kommunikation des Käfers erfolgt durch Klopfen (BIRCH & KEENLYSIDE 1991, WHITE et al. 1993, GOULSEN et al. 1994). Zugleich besteht keine kommerzielle Verfügbarkeit der Pheromone und für den Gewöhnlichen Nagekäfer wurden Pheromone durch die Industrie nicht neu synthetisiert. Insbesondere aus dem Forstschutz ist nachteilig bekannt, dass künstliche Schädlingpheromone eine unerwünschte kairomonale Wirkung aufweisen, da sie Nützlinge anlocken (BAKKE & KVAMME 1978, 1981, HELLRIEGEL & SCHWENKE 1985, SELLENSCHLO 1987, HEIDGER 1994, RETTELBACH 2002).

Unabhängig von der Diversität des Habitats und der Effizienz der eingesetzten Monitoringmethoden konnte nachgewiesen werden, dass der Gewöhnliche Nagekäfer von den betrachteten Holzschädlingen die größte Häufigkeit in den untersuchten Gebäuden Mecklenburgs aufweist. Buntkäfer und parasitoide Wespen als seine natürlichen Gegenspieler sind weit verbreitet. Damit besitzt der Gewöhnliche Nagekäfer eine große Anzahl natürlicher Feinde. Der fehlende Nachweis anderer Holz zerstörender Arten lässt vermuten, dass deren Vorkommen selten ist. Insbesondere für den Hausbockkäfer, der in Deutschland der 30er bis 50er Jahre als das schädlichste Insekt am verbauten Holz galt (KAUFMANN & SCHUCH 1938, BECKER 1941, 1963), ist ein geklumptes Vorkommen wahrscheinlich. Ein Vergleich der Untersuchungsergebnisse zum Befallsstatus mit einer früheren Datenlage war für das Untersuchungsgebiet Mecklenburg nicht möglich. Erhebungen liegen dazu nicht vor. Insofern bieten die durchgeführten Felduntersuchungen die Basis für zukünftige Erhebungen.

Buntkäfer

Der am häufigsten von den Buntkäfern nachgewiesene Blaue Fellkäfer schlüpfte im Mai. Er wurde überwiegend in Gebäuden mit einem Befall durch den Gewöhnlichen Nagekäfer festgestellt. Daraus kann für das Untersuchungsgebiet gefolgert werden, dass der Gewöhnliche Nagekäfer als Beutetier bevorzugt wird. Die festgestellte Erweiterung seines Beutespektrums auf den Gescheckten Nagekäfer und den Gekämmten Nagekäfer zeigt die polyphage Veranlagung dieses Buntkäfers. Damit kann diese Buntkäferart bei Verknappung ihrer bevorzugten Beute auf andere Nagekäferarten ausweichen, ohne dass es zu einem Zusammenbruch der Prädatorenpopulation kommen muss. HICKIN (1969) vermutete für den Blauen Fellkäfer die Notwendigkeit eines Reifungsfraßes. Er ist bei Coleopteren weit verbreitet. Der Reifungsfraß ist notwendig, wenn die zur Bildung der Eier notwendigen Nährstoffe im Fettkörper nicht gespeichert sind oder nicht genügen und durch die Nahrung aufgenommen werden müssen (ZISSLER 2003). Ohne die Nahrungsaufnahme würden die Imagines nicht zur Fortpflanzung kommen. Daher ist zu vermuten, dass der Gewöhnliche Nagekäfer, der am häufigsten im Juli schlüpft, nur im larvalen Stadium zum Beutespektrum vom Blauen Fellkäfer gehört und im

Imaginalstadium für einen Reifungsfraß der Buntkäferart kaum in Betracht kommt. BELMAIN et al. (2000) erwähnten als Nahrung insbesondere Eier anderer holzbewohnender Insektenarten, die den Imagines des Blauen Fellkäfers als Nahrung dienen. Dennoch bleibt für diesen Cleriden unbekannt, welche Nahrung von den Imagines im natürlichen Habitat aufgenommen wird. Das Nahrung aufgenommen wird, dokumentierten Kotscheidungen der Imagines.

Wie die Untersuchungen zeigten, verpuppte sich der Blaue Fellkäfer im Spätsommer und überwinterte als fertiger Käfer in der leeren Puppenwiege, insbesondere vom Gewöhnlichen Nagekäfer. Eine Auskleidung der Puppenkammer mit weißem Sekret erfolgte wie beim Ameisenbuntkäfer, der einen erweiterten Borkenkäfergang nutzt (GAUSS, 1954). Die Belegung der Puppenkammer war auf der Holzoberfläche sichtbar, weil die Buntkäferlarve das vorhandene Anobien schlupfloch leicht überhöht mit Bohrmehl fest zustopfte. Eine Verpuppung dieses Cleriden in ungeheizten Räumen im Herbst wurde bereits von BECKER (1942) beobachtet. Dabei ist die räumliche Begrenzung der Puppenwiege für die Entwicklung zum Vollinsekt vermutlich von Bedeutung. Wie die Untersuchungen außerhalb des Holzsubstrates zeigten, kann fehlender Anpressdruck bei der Umwandlung von der Puppe zum adulten Käfer, insbesondere an den Flügeldecken, zu Missbildungen führen. Ähnliche Beobachtungen zur Missbildung durch zu lockeres Substrat stellte DETMERS (1993) bei Untersuchungen am Großen Kornbohrer *Prostephanus truncatus* (HORN), einem Vorratsschädling, fest.

Ein gleichzeitiges Vorkommen des Blauen Fellkäfers mit dem Weichen Buntkäfer oder dem Schwarzflügeligen Holzbuntkäfer zeigte, dass sein prozentualer Anteil geringer war, wenn die konkurrierende Buntkäferart in der Überzahl vorkommt. Das könnte bedeuten, dass die durch die beiden anderen Prädatoren bevorzugte Beute für den Blauen Fellkäfer ein weniger optimales Nahrungsspektrum darstellt und er in dieser Lebensgemeinschaft die konkurrenzunterlegene Art ist. Im Laborversuch wurde beobachtet, dass die Imago des Weichen Buntkäfers auch die Imago des Blauen Fellkäfers angriffen.

Während der Blaue Fellkäfer, der Weiche Buntkäfer und der Hausbuntkäfer als gebäudebewohnende Arten gelten, ist für den Schwarzflügeligen Holzbuntkäfer die synanthrope Lebensweise bisher nicht bekannt. GERSTMEIER (1987) nannte als typisches Habitat für diese Art Wälder mit altem Laubholzbestand, KLAUSNITZER (2005) verwies insbesondere auf Buchen. Damit könnte der Schwarzflügelige Holzbuntkäfer aufgrund seines erfolgten Nachweises im Bauwerk im Rahmen dieser Arbeit als möglicherweise potentiell synanthrop angesehen werden.

AHRENS (1998) wertete für Mecklenburg-Vorpommern verschiedene verfügbare Fundmeldungen zu Buntkäfern aus und publizierte diese im Verzeichnis der Käfer Deutschlands (KÖHLER & KLAUSNITZER 1998). Dieser Liste folgend liegen für den Blauen Fellkäfer, den Weichen Buntkäfer und den Schwarzflügeligen Holzbuntkäfer Nachweise seit 1950 vor, wobei für den Blauen Fellkäfer sowohl Altfunde als auch aktuelle Belege existieren. Für den Hausbuntkäfer bezieht sich der Nachweis nur auf den Zeitraum vor 1950 und basiert auf HORION (1953). Damit belegt die vorliegende Untersuchung wieder den Nachweis dieser Art in Mecklenburg.

Eine Rote Liste der Buntkäfer gibt es für Mecklenburg-Vorpommern nicht. Entsprechend der Roten Liste gefährdeter Tiere Deutschlands (GEISER 1998) werden der Hausbuntkäfer als „stark gefährdet“ und der Schwarzflügelige Holzbuntkäfer als „gefährdet“ eingestuft, während für den Blauen Fellkäfer und den Weichen Buntkäfer keine Gefährdung im Artbestand gesehen wird. Das für Mecklenburg-Vorpommern eine ähnliche faunistische Einschätzung erfolgen kann, bewiesen die Untersuchungen.

Holzfeuchte und Raumklima

Die Raumklimamessungen zeigten, dass der für eine Entwicklung von Schädlingspopulationen notwendige Feuchtegehalt in den Untersuchungsbauteilen vorherrschte. Als Jahresmittelwert wurden relative Luftfeuchten $\geq 70\%$ in den Gebäuden gemessen. Nach Angaben von BECKER (1942) und SERDYKOWA (1989) ist unterhalb von 60 bis 65% relativer Luftfeuchte keine Larvenentwicklung beim Gewöhnlichen Nagekäfer möglich, während für den Gescheckten Nagekäfer unterschiedliche Angaben vorliegen. Untersuchungen von FISHER (1938) zeigten, dass eine Eientwicklung noch bei 41% relativer Luftfeuchte erfolgte, für die Larvenentwicklung jedoch Luftfeuchten $\geq 60\%$ erforderlich sind (BELMAIN et al. 2000, 2001). Für den Gekämmten Nagekäfer erwähnte CYMOREK (1960), dass die Tiere mit gutem Erfolg bei 70% relativer Luftfeuchte gehalten werden, wobei die Feuchteansprüche geringer als beim Gewöhnlichen Nagekäfer sind.

Die Bedeutung des Feuchtegehaltes wurde insbesondere in Untersuchungen von BERRY et al. (1993) deutlich. Seine Untersuchungen wiesen eine deutliche Abnahme im Befall durch den Gewöhnlichen Nagekäfer im trockenen Raumklima moderner Wohngebäude Großbritanniens nach. Eine jüngst durchgeführte Studie zur Verwendung technisch getrockneter Hölzern im Wohnungsbau ergab an bis zu 20 Jahre alten Häusern keinen erkennbaren Insektenbefall (RADOVIC 2008). Die ermittelten Holzfeuchten waren zwischen 9% und 13%.

Die in den Untersuchungsgebäuden an verschiedenen Bauteilgruppen ermittelten Holzfeuchten lagen im Mittelwert nicht unter 14%. Nach der KEYLWERTHSchen Beziehung entspricht diese Holzfeuchte ungefähr der mit den Klimamessungen nachgewiesenen 70% relativen Luftfeuchte. Damit waren im Bezug zur Holzfeuchte die verschiedenen Bauteilgruppen durch Insektenbefall gefährdet. Das dennoch Unterschiede in den Bauteilgruppen sakraler Bauwerke bestanden, war auf verschiedene Einflussgrößen zurück zu führen. Durch den Gewöhnlichen Nagekäfer war am stärksten das Kirchengestühl befallen. Der Befallsanteil durch diesen Käfer lag für diese Bauteilgruppe bei über 65%. Die Ursache dafür wird im hohen Splintholzanteil des vorherrschenden Kiefernholzes vermutet. Zugleich ist ein vorbeugender chemischer Holzschutz an Innenbauteilen wie Gestühl oder Emporen nicht üblich. Am Dachstuhl betrug der Befall durch den Gewöhnlichen Nagekäfer in den untersuchten Kirchen unter 30%. Infolge hoher Temperaturen durch direkte Sonneneinstrahlung sind im Dachstuhl die Holzfeuchten zumeist niedriger als an den anderen Bauteilgruppen. Damit wird ein Befall am Dachstuhl begrenzt. Der sehr geringe Befall durch diesen Holzschädling an Altar und Kanzel bis maximal 12% wird in der häufigen Kontrolle und der Verwendung bekämpfender Holzschutzmittel durch die Bauwerksverantwortlichen vermutet.

Für das historische Gebäude bestehen Grenzen, das Umgebungsklima insoweit zu verändern, dass Holz zerstörende Insekten keine Entwicklungsbedingungen mehr vorfinden. Die Anwendung von Bioziden im Holzschutz als vorbeugende oder bekämpfende Maßnahme wird langfristig keine Lösung des Schädlingsproblems darstellen. Vermutlich ist es unmöglich, den jährlich entstehenden Schaden durch synanthrope Holzschädlinge in Europa zu beurteilen. Für die USA schätzten MAULDIN et al. (1986) die jährlichen Kosten für die Bekämpfung und Schadensbeseitigung durch holzerstörende Käfer mit US \$ 50 Millionen. Bezogen auf den gewöhnlichen Nagekäfer nannte HICKIN (1963) einen jährlichen Kostenaufwand von £ 10 Millionen für Großbritannien. Um eine zielgerichtete und damit umweltgerechte Bekämpfung von Holzschädlingen vornehmen zu können, müssen deren Befallsbereiche und die Populationsdichte im Bauwerk aufgefunden werden. Der integrierte Holzschutz mit den Methoden des Monitorings ist daher der umweltgerechte Ansatz für die Erhaltung von Holzbauwerken und Kulturgut.

4.2 Laborversuche mit Buntkäfern

4.2.1 Anzuchtversuche mit Buntkäfern

Larven der Buntkäferarten Blauer Fellkäfer (*Korynetes caeruleus*), Hausbuntkäfer (*Opilo domesticus*), Weicher Buntkäfer (*Opilo mollis*) und Schwarzflügler Holz buntkäfer (*Tillus elongatus*) wurden mit lebenden Tabakkäferlarven (*Lasioderma serricornis*) gefüttert. Es handelt sich um Futtertiere, die nicht zum natürlichen Nahrungsspektrum gehören. Die Verwendung leicht züchtbarer Futtertiere für eine Buntkäferzucht wurde von mehreren Autoren empfohlen. STEINER (1938) nannte Mehlmottenlarven für den Hausbuntkäfer, BECKER (1954) Brotkäfer für den Blauen Fellkäfer und BERRYMAN (1967 a) allgemein Getreidekäfer ohne Angaben zur Art für den im Forst vorkommenden Buntkäfer *Enoclerus lecontei*. Für die Zucht parasitoider Wespen wiesen STEIDLE et al. (2007) darauf hin, dass neben dem eigentlichen Wirtsspektrum mindestens noch ein Wirt vorhanden sein muss, der gut zu züchten ist. Der Tabakkäfer mit einer vergleichsweise geringen Generationsdauer (53 Tage bei 20 °C, 78% r.F.) und bis zu 100 Eiern pro Weibchen (ENGELBRECHT & REICHMUTH 2005) erfüllt die Anforderungen an ein gut züchtbares Ersatz-Futtertier.

Die Fütterungsversuche zeigten, dass Tabakkäferlarven von allen vier untersuchten Arten der Buntkäferlarven angenommen wurden. Der Mittelwert gefressener Futterlarven betrug bei reichlichem Futterangebot 2,5 Tiere/Woche. Dabei konnte vermutlich mehr Beute konsumiert werden, als tatsächlich zur Deckung des Nahrungsbedarfes benötigt wurde. Durch Temperaturerhöhung in den Zuchtzellen von 17 °C auf 23 °C wurde eine geringe Erhöhung der Anzahl gefressener Futtertiere erreicht. Es ist anzunehmen, dass die Erhöhung der Temperatur zur Beschleunigung des Stoffwechsels führte, wie er bei wechselwarmen Tieren zu erwarten ist.

Eine signifikante Gewichtszunahme der Buntkäferlarven konnte im Fütterungszeitraum, mit Ausnahme vom Weichen Buntkäfer nicht festgestellt werden. Gewichtsverluste durch Feuchteabfall in den Klimazellen von ~65% auf 40% waren dagegen unabhängig von der Spezies bis zu 50% des Körpergewichts der Larven zu verzeichnen. Nach GAUSS (1954) führt eine niedrige Feuchte zu einer Verlängerung der Larvalentwicklung, wobei sich seine Untersuchungen auf den im Forst vorkommenden Ameisenbuntkäfer (*Thanasimus formicarius*) bezogen. Er stellte einen verlängerten Entwicklungszeitraum von ca. 38 Tagen fest, wenn keine tägliche Befeuchtung des Substrates mit flüssigem Wasser erfolgte.

Als einzige Zuchtlarve konnte eine Larve des Hausbuntkäfers (*O. domesticus*) vom Larvenstadium bis zum Vollinsekt gezüchtet werden. Dabei zeigte sich, dass in der Ruhe vor der Verpuppung offensichtlich keine Nahrung mehr aufgenommen wird. Bis zum Erreichen des eigentlichen Puppenstadiums konnte eine Halbierung des Larvengewichts ermittelt werden. Der Zeitraum der letzten Häutung (Imaginalhäutung) bis zum Erreichen des Puppenstadiums dauerte 84 Tage. Die Pupalphase bis zum Käferschlupf betrug für dieses Einzeltier 21 Tage. Dabei war es nicht möglich zu erfassen, wie lange die Larve vor der Verpuppung eine Vorpuppenruhe einhielt. Für die Larven des Ameisenbuntkäfers beschrieb GAUSS (1954), dass diese nach der letzten Häutung eine ein- bis zweimonatige Ruhepause vor der Verpuppung einhalten und dass die kürzeste beobachtete Dauer des Puppenstadiums 34 Tage beträgt, während HAGET (1950) die als Puppe verbrachte Zeit bei 24 °C mit 20 Tagen angab. Nach Untersuchungen von HEIDGER (1994) beträgt für den Ameisenbuntkäfer *T. formicarius* die Dauer der Pupalphase abzüglich der Vorpuppenruhe 35,6 Tage bei konstanten 20 °C.

Die Anzahl der Larvenstadien für die untersuchten Buntkäferarten ist nicht bekannt. Für den erwähnten Ameisenbuntkäfer gaben GAUSS (1954) und MILLS (1985) vier Larvenstadien an. Eine Häutung der Zielarten konnte in dieser Arbeit zwischen sechs bis zehn Wochen nachgewiesen werden. Dabei häutete sich der Weiche Buntkäfer am meisten und der Blaue Fellkäfer am seltensten. Es wurden bis zu sechs (Blauer Fellkäfer) bzw. zwölf (Weicher Buntkäfer) Häutungen festgestellt, ohne dass eine Verpuppung erfolgte. Zur Verpuppung kamen je ein Einzeltiere des Hausbuntkäfers bzw. Schwarzflügeligen Holzbuntkäfers. Die Larven häuteten sich zwei- bzw. viermal. Das Wachstum der Larve, als Volumenzunahme des Körpers, erfolgt durch Häutungen. Dabei kann die Anzahl der Larvenstadien sehr unterschiedlich sein. Vier bis fünf Larvenstadien sind üblich, wobei höhere Temperaturen schneller zu einer zunehmenden Anzahl von Häutungen führen (ZISLER 2003). Es ist zu vermuten, dass die Zuchtlarven zur Käferentwicklung die natürliche jahreszeitliche Klimaabfolge benötigen.

Beobachtungen von HEIDGER (1994) an Larven des Ameisenbuntkäfers *T. formicarius* zeigten, dass bei einer Fütterung mit toten, aber natürlichen Beutetieren anstelle lebender Brut bis zu sieben Larvenstadien auftraten. In der vorliegenden Arbeit erfolgten die Fütterungen mit lebenden Tieren. Wenngleich die zur Fütterung verwendeten Tabakkäferlarven auf Weizenkleie anstatt auf Tabak gezüchtet wurden, ist nicht auszuschließen, dass die Futtertiere entweder weniger Nährstoffe enthielten oder ihnen ein Stoff fehlt, der zur schnellen Entwicklung der Buntkäferlarven unerlässlich ist. Dennoch sprechen mehrere Gründe für die Eignung des

Tabakkäfers. Er gehört ebenso wie die natürliche Beute zur Familie der Nagekäfer. Zugleich deuten die Untersuchungsergebnisse aus dem Freiland auf eine polyphage Veranlagung der Zielarten hin und unterstützen damit die Auswahl des Tabakkäfers. Die Ursache für die erhöhte Anzahl von Häutungen und Mortalität der Larven kann in den Haltungsbedingungen liegen. Die regelmäßige Gewichtskontrolle der Larven lässt Stress vermuten, denn die Tiere können sich nicht verkriechen. In Zuchtversuchen von NEBEKER et al. (1980) mit Larven des amerikanischen Ameisenbuntkäfers *Thanasimus dubius* konnte gezeigt werden, dass diese eine geringe Mortalität aufwiesen, wenn die Haltungsbedingungen dem natürlichen Habitat nahe kamen.

Die für die Buntkäferlarven ermittelte relativ hohe Beutekonsumrate mit 2,5 Tabakkäferlarven pro Woche lässt vermuten, dass unter den Laborbedingungen des reichlichen Futterangebotes mehr Nahrung aufgenommen wurde als zur Entwicklung benötigt wird. Zudem wird Beute im Freiland selten im Überfluss vorhanden sein. Somit dürfte im Freiland weniger Beute verzehrt werden, da diese vom Beuteangebot abhängig ist. Die im Zuchtversuch konsumierte Beutemenge mit Futterangebot ad libitum wird daher wesentlich durch die Fresszeit und den Sättigungszustand bestimmt. Für die Bewertung der prädatorischen Kapazität wird im Forstschutz darauf hingewiesen, dass Laboruntersuchungen zu deren Abschätzung begrenzt sind, da bei künstlichen Bedingungen Informationen zu Hunger- und Sättigungseffekten fehlen (BERRYMAN 1967 b) bzw. Einflüsse des natürlichen Lebensraumes auf das Fressverhalten nicht mit erfasst werden (MILLER 1979). Zugleich ist nach THALENHORST (1958) die Aufschlüsselung des Wirkungsgrades für einzelne Prädatorenarten nicht möglich, so dass nur ein summarischer Wert, den der Autor als Vernichtungswert bezeichnet, angegeben werden kann. Trotz der Beschränkungen die sich aus dem Laborversuch ergeben, zeigen die Beutekonsumraten, dass die untersuchten Buntkäferlarven eine prädatorische Kapazität besitzen. Auch wenn die von HEIDGER (1994) für die Larven des Ameisenbuntkäfers ermittelte Anzahl konsumierter Beutetiere an Buchdruckern (*Ips typographus*) um das ca. 3,5fache höher lag als bei den untersuchten Arten, stellen Buntkäfer im synanthropen Bereich einen wichtigen Faktor zur Begrenzung der Schädlingspopulation dar. Befallsdichten durch Schädlinge wie sie im Forst auftreten, sind für das Bauwerk unwahrscheinlich. Die Eizahl vom Gewöhnlichen Nagekäfer ist auf 20 bis 60 Eier je Weibchen begrenzt (HICKIN 1963). Unterstellt man, dass sich bei größtmöglicher Eizahl aus jedem Ei eine Schädlingslarve entwickelt, würde eine Buntkäferlarve im günstigsten Fall 24 Wochen zur Konsumierung der Brut eines Nagekäferweibchens benötigen.

Während die Larven reine Fressstadien sind, dient das Imaginalstadium der Fortpflanzung. Die Untersuchungen zeigten, dass die Imagines Nahrung aufnehmen.

Die mittlere Lebensdauer von im Labor gefütterten Blauen Felkkäfern war mehr als doppelt so lang (23,5 Tage) als ohne Futterzugabe (9,4 Tage). Damit wurden die Freilandbeobachtungen durch die Laborwerte gestützt, die auf eine ca. einmonatige Lebensdauer hinweisen. Die Varianz in den Werten erklärt sich vermutlich durch die Freilandentnahme der Versuchstiere, deren exakter Schlupftag nicht bekannt war.

Untersuchungen zur Lebensdauer adulter Schwarzflügeliger Holzbuntkäfer (*T. elongatus*) erfolgten an Zuchttieren. Damit war der Schlupftag der jeweiligen Imago genau bekannt. Verpaarte weibliche Tiere lebten unter Futterzugabe geringfügig länger (50,3 Tage) als unverpaarte weibliche Einzeltiere (47,0 Tage). Verpaarte männliche Holzbuntkäfer starben relativ kurz nach dem Partnerkontakt (13,7 Tage). Hungertiere lebten bis zu 10 Tagen, Weibchen länger als Männchen. Damit können die Käfer dieser Art reichlich eine Woche ohne Futteraufnahme überleben. Dies ist für den Käfer bei geringer Beutetierdichte von Bedeutung. Untersuchungen von RETTELBACH (2002) am Ameisenbuntkäfer der Art *Thanasimus femoralis* zeigten, dass im Hungerversuch getestete Weibchen im Mittel 13 Tage nach Beginn der Hungerphase starben.

Die Lebensdauer adulter Weicher Buntkäfer (*O. mollis*) war mit maximal 70 Tagen am längsten, bevor der natürliche Alterstod eintrat. Da die Tiere der Freilandentnahme entstammten, war der exakte Schlupftag nicht bekannt. Alle angebotenen Futtertiere wurden gefressen, wobei lebende Beute sofort und tote Beute mit Verzögerung angegriffen wurde. GAUSS (1954) erwähnte für den Ameisenbuntkäfer die Bewegung der Beute als entscheidenden Faktor für einen Angriff. In Feldstudien konnte er feststellen, dass Borkenkäfer, die sich in unmittelbarer Nähe des Prädators befanden, nicht ergriffen wurden, wenn diese sich nicht bewegen. Die von GAUSS (1954) festgestellte Angriffsstrategie des Ameisenbuntkäfers *T. formicarius* auf Borkenkäfer ist weitgehend identisch mit der des Weichen Buntkäfers auf Nagekäfer. Die Beute wird mit beiden Vorderbeinpaaren fest gepackt und alle Weichteile werden ausgefressen. Eine Bevorzugung lebender Beute wurde auch bei PUPPIN (1973) für den Hausbuntkäfer beschrieben.

4.2.2 Begasung mit Sulfuryldifluorid

Für die bei Schädlingsbefall üblichen Gebäudebegasungen im Holzschutz wurde untersucht, ob Buntkäfer Überlebenschancen besitzen. Dafür wurden Larven des Gewöhnlichen Nagekäfers (*Anobium punctatum*) als Schädling und Larven des Blauen Fellkäfers (*Korynetes caeruleus*) als Nützling verwendet. Eine höhere Empfindlichkeit des Schädlings im Vergleich zu seinem Gegenspieler würde dem Nützling ein Überleben bei der Bekämpfung mit Sulfuryldifluorid ermöglichen.

Die Wirksamkeit von Gasen gegen holzbohrende Insekten verschiedener Arten und Stadien wurde mit Holzprobenstücken vergleichend noch nicht erforscht. Daher gibt es auch keine Prüfstandards für Begasungsmittel im Holzschutz, wie diese für flüssige Holzschutzmittel vorliegen. Die für die Laborversuche entwickelten Holzklötze in Anlehnung an konstruktive Holzbauteile sind als Prüfkörper geeignet. Sie orientieren sich an individuellen Modellen der Materialprüfanstalt Brandenburg GmbH mit L x B x H = 12 cm x 12 cm x 50 cm (SCHUMACHER, pers. Mitt.) und die des Johann Heinrich von Thünen-Instituts (vTI), die Prüfklotze verschiedener Größe im Praxiseinsatz verwenden. Die Prüfklotze des vTI werden bei der Bauwerksbegasung jeweils den vorhandenen Dimensionen der Holzbauteile angepasst und sind bis zu einen Querschnitt von 40 cm x 40 cm vorrätig (NOLDT, pers. Mitt.).

Die Versuche zeigten, dass das zum Verschließen der Prüfkörperhälften verwendete Silikon zu keiner Beeinflussung der Versuchstiere im Prüfkörperinneren durch Ausdunstung der Essigsäure führt. In allen vier Versuchen überlebten in den unbehandelten Kontrollproben beide Spezies. Die Verwendung von Versuchstierkäfigen bringt Vorteile gegenüber dem Einsetzen der Tiere in kleine Holzklötzchen, da die Tiere an ihren Standort fixiert bleiben und auch leicht eingesetzt und wieder entnommen werden können.

Unter den üblichen Klimabedingungen der Untersuchungsbaugeräte (16 bis 17 °C, 70 % r. F.) führte ein ct-Produkt von 360 bis 2.160 gh/m³ zu einer vollständigen Abtötung der in den Prüfklotzen eingesetzten Nagekäfer- und Buntkäferlarven (LD₁₀₀). Damit lag die relative Empfindlichkeit von Schädling und Nützling dicht beieinander. Es ist somit für das Larvenstadium nicht zu erwarten, dass bei Schädlingsbekämpfungen mit Sulfuryldifluorid der Nützling überlebt. Da die Eier von Arthropoden gegenüber diesem Gas stets widerstandsfähiger sind als die post-embryonalen Stadien (THOMS & SCHEFFRAHN 1994, REICHMUTH et al. 1998), bleibt noch zu prüfen, ob Eier des Gewöhnlichen Nagekäfers empfindlicher sind, als die seines Gegenspielers. Beobachtungen zum Auftreten von Bohrmehlhäufchen nach Durchführung einer Gebäudebegasung lassen vermuten, dass die Eier des Prädatoren möglicherweise überleben können (FRANKE 2001). Eine höhere Sensitivität der Eier vom Gewöhnlichen Nagekäfer gegenüber dem Blauen Felikäfer würde bei einer Begasung des Schädling die vollständige Abtötung des Prädatoren innerhalb des Begasungsobjektes verhindern. Eine Kombination der chemischen Behandlung mit Sulfuryldifluorid und der biologischen Bekämpfung mit Buntkäfern wäre damit theoretisch möglich. Der Nützling müsste nach einer Begasung nicht neu einwandern.

Praxisrelevante ct-Produkte mit Sulfuryldifluorid sind in der Bauwerksbegasung temperaturabhängig und liegen für den Gewöhnlichen Nagekäfer bei > 2.000 gh/m³ (BINKER, pers. Mitt.). Das Merkblatt der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung zur Bekämpfung von Holzinsekten (2002) nennt Konzentrationen in einer Spanne von 10 g/m³ bis 35 g/m³ bei 24 bis 96 Stunden Einwirkzeit. THOMS & SCHEFFRAHN (1994) schlugen für Insekten mit saisonalen Lebenszyklus eine Begasung mit Sulfuryldifluorid zu dem Zeitpunkt vor, wenn keine eierlegenden Weibchen vorhanden sind. Damit könnte aus Umweltgründen eine geringere und dennoch wirksame Dosis eingesetzt werden. Entsprechend den ermittelten Flugzeiten, wäre für eine Begasung des Gewöhnlichen Nagekäfers das Frühjahr bis Mai und der Herbst ab September geeignet, da der paarungsbereite Käfer und seine Eier zu diesem Zeitpunkt nicht vorkommen.

Als am empfindlichsten gegenüber Sulfuryldifluorid gilt das Imaginal- und Larvenstadium (SCHNEIDER 1993), da das Gas über die Atmung aufgenommen wird. Je schneller sich das Insekt bewegt, umso größer ist die toxische Wirkung (THOMS & SCHEFFRAHN 1994). Im Eistadium hingegen kann das Gas nur langsam durch Diffusion über die Eischale eindringen (OUTRAM 1967 a, b). Bei einer Begasung im Herbst sind fertig entwickelte Geschlechtstiere nur vom Blauen Felikäfer vorhanden. Wie Untersuchungen zeigten verpuppt sich der Nützling im Spätsommer und überwintert als adulter Käfer im Holz. Damit ist auch bei einer Begasung mit niedriger Dosis

nicht zu erwarten, dass die Imagines überleben. Eine Begasung im Frühjahr würde ebenfalls dem frisch geschlüpften adulten Blauen Felkkäfer keine Überlebenschance bieten, vermutlich aber bereits gelegten Eiern. Da der Gewöhnliche Nagekäfer zu diesem Zeitpunkt noch nicht geschlüpft ist, würde eine Begasung im Frühjahr, dem Nützlichling vermutlich Vorteile bieten.

Die durchgeführten Versuche zeigten, dass die untere letale Dosis für das Larvenstadium beider Arten unterhalb eines ct-Produktes von 360 gh/m^3 liegt. Bei 120 gh/m^3 gab es beim Schädling und beim Nützlichling überlebende Tiere. Damit ist die letale Dosis ungefähr um das zehnfache niedriger, wie sie in der Praxis zur Bekämpfung des Gewöhnlichen Nagekäfers verwendet wird. Einen Faktor ebenfalls von 1 : 10 zwischen dem Larven- und dem Ei-stadium nannten THOMS & SCHEFFRAHN (1994) für die nordamerikanische Anobienart *Hemicoeelus gibbicollis*. Für verschiedene Motten- und Reismehlkäferarten aus dem Vorratsschutz erwähnten REICHMUTH & KLEMENTZ (2008) einen Faktor bis 1 : 15.

Für die Larven des Gewöhnlichen Nagekäfers konnte bei einem ct-Produkt von 120 gh/m^3 eine Nachsterblichkeit festgestellt werden, für den Blauen Felkkäfer ist eine Tendenz zur Nachsterblichkeit vorhanden. Während für das in der Vergangenheit häufig eingesetzte Gas Methylbromid eine Nachsterblichkeit bekannt ist, wurde diese für Sulfuryldifluorid bisher nicht erwähnt. Insbesondere Untersuchungen von DETMERS (1993) mit Methylbromid zur Räuber-Beute-Beziehung im Vorratsschutz wiesen für den Großen Kornbohrer (*Prostephanus truncatus*) und seinem natürlichen Feind eine Nachsterblichkeit aus.

4.3 Apparative Schadensdiagnose

Zumeist sind Substanzschäden durch Insektenfraß schwierig zu beurteilen. Ausschluflöcher der adulten Tiere auf der Holzoberfläche sind meist das einzige Erkennungsmerkmal, dass auf einen Schaden hinweist. Die Zerstörung im Inneren des Holzes durch den Ernährungsfraß der Schädlinglarven bleibt unsichtbar.

Bedingt durch Unterschiede in der Biologie xylophager Insekten, wurde artspezifisch untersucht. Dafür wurden Nadel- und Laubhölzer mit natürlich eingetretenen Befall durch den Gewöhnlichen Nagekäfer (*Anobium punctatum*), Gescheckten Nagekäfer (*Xestobium rufvillosum*) und Gekämmten Nagekäfer (*Ptilinus pectinicornis*) verwendet.

Der Einfluss prädatorischer Buntkäfer auf die Zerstörung der Holzsubstanz kann vernachlässigt werden. Ihre Ernährung ist karnivor. Die Fähigkeit der Larven, sich durch organische Substanz zu nagen (STEINER 1938, BECKER 1954), wurde im Rahmen dieser Untersuchungen erst bei bestehender Beuteknappheit beobachtet.

Die Untersuchungen mit der Bohrwiderstandsmethode lassen für die untersuchten Anobiidae nur geringe artspezifische Unterschiede im Bohrwiderstandsprofil erkennen. Um Schäden detektieren zu können, sind der Jahrringaufbau und der Alterstrend, einem Abnehmen der

Jahrringbreite mit zunehmenden Baumalter, zu berücksichtigen. Zwischen Nadel- und Laubholz bestehen dabei Unterschiede. Der artspezifische Fraßgang des Holzschädlings kann nur unter Berücksichtigung holzanatomischer Unterschiede erkannt werden. Während der Gewöhnliche Nagekäfer überwiegend Nadelholzarten befällt, ist der Gescheckte Nagekäfer bevorzugt in ringporigen und der Gekämmte Nagekäfer in zerstreutporigen Laubhölzern anzutreffen (HICKIN 1983, CYMOREK 1970, 1982).

Die breitesten Jahrringe bildet im Allgemeinen der Jungbaum und mit zunehmenden Baumalter nimmt die Jahrringbreite dann ab (SCHWEINGRUBER 1983). Während bei Nadelhölzern mit steigender Jahrringbreite der harte Spätholzanteil sinkt, besteht beim Laubholz eine umgekehrte Tendenz. Der Spätholzanteil nimmt mit steigender Jahrringbreite zu. Damit kommt es bei Nadelhölzern zu einem Ansteigen des Bohrwiderstandes vom inneren Jugendholz (juveniles Holz) zu den äußeren Jahrringen (RINN 1994 c). Fraßgänge der Insekten können somit nur im Profil der Bohrkurve erkannt werden, wenn diese anatomische Eigenschaft beachtet wird, um den Fraßgang als Einbruch im Bohrprofil unterhalb des Frühholzniveaus anzuzeigen. Damit bleiben einzelne Fraßgänge durch das weiche Frühholz häufig undeutlich.

Artspezifische Unterschiede bestehen insbesondere durch die Größe der Fraßgänge. Damit sind die Fraßgänge des Gescheckten Nagekäfers besser zu erkennen, als die wesentlich kleineren Fraßgänge der beiden anderen untersuchten Nagekäferarten. Untersuchungen von GÖRLACHER & HÄTTICH (1992) an Hölzern mit Hausbockkäferschäden (*Hylotrupes bajulus*) zeigten ein ähnliches Ergebnis, indem die breiten Fraßgänge des Bockkäfers wesentlich besser abgebildet werden konnten, als die des Gewöhnlichen Nagekäfers.

Bei engjahrringigen Hölzern war bedingt durch die kurz wechselnde Abfolge von Früh- und Spätholz die Fraßgangerkennung eingeschränkt. Der Fraßgang wird nicht mehr als Einbruch im Bohrprofil angezeigt. Besonders beim Gewöhnlichen Nagekäfer war diese Erscheinung auffällig, da die Larven das weiche Frühholz bevorzugten (BECKER 1983) und das harte Spätholz unbeschadet verbleibt. Erst eine fortgeschrittene Zerstörung, die ein Zerfallen der Spätholzlamellen hervorruft, führte zur Detektion des Fraßschadens.

Bei ringporigen Laubhölzern bewirken die breiten inneren Jahrringe wegen des hohen Spätholzanteils eine Erhöhung des Bohrwiderstandes, der zu den engen äußeren Jahrringen hin abnimmt (RINN 1994 d). Auch bei den zerstreutporigen Laubhölzern kommt es zu einer Erhöhung des Bohrwiderstandes von außen nach innen. Die Erkennung der Jahrringstruktur ist wegen der relativ gleichmäßigen Verteilung der Gefäße jedoch schwierig (ECKSTEIN & SASS 1994). Es erfolgt kein deutlicher struktureller Wechsel zwischen Früh- und Spätholz. Damit waren Fraßgänge des Gekämmten Nagekäfers im zerstreutporigen Rotbuchenholz am schwierigsten zu detektieren. Zugleich beeinflusste das artbedingte dichte Verstopfen der Gänge mit Fraßmehl (CYMOREK 1974, 1982) den Bohrwiderstand. Bei dieser Insektenart war somit ein Erkennen von Fraßgängen im Bohrwiderstandsprofil vom Durchmesser des Fraßganges abhängig.

Pilzbefall verhinderte bei allen drei untersuchten Schädlingsarten deren Nachweis mit der Bohrwiderstandsmethode. Die pilzliche Schädigung überdeckte den Fraßschäden. Es kam durch den Pilzbefall zu einem Abfallen des Bohrprofils bis auf das Leerlaufniveau der Bohrnadel (Grundlinie). Für den Gescheckten Nagekäfer ergeben sich damit Einschränkungen in der Verfahrensanwendung, da der Käfer sich an pilzbefallenem Holz orientiert (FISHER 1940, HICKIN 1963, BELMAIN et al. 2002). Die durch den pilzlichen Abbau der Holzsubstanz hervorgerufene Festigkeitsminderung fördert die Larvenentwicklung dieser Spezies (CAMPBELL & BRYANT 1940).

Zwischen der Anzahl vorhandener Ausschlupflöcher an der Holzoberfläche und detektierter Fraßgänge im Holzinneren war mittels linearer Regression nur ein leichter Zusammenhang nachweisbar. Damit ist es nicht sicher möglich, auf der Grundlage der Anzahl erkennbarer Ausschlupflöcher auf den Umfang der Zerstörung im Holzinneren durch Insekten zu schließen. Die Prüfung von Holz zur Einschätzung der Substanz bleibt damit für die Bewertung von Insektenschäden notwendig.

Die Untersuchungen zeigten, dass mit dem Ultraschallechoverfahren unter Verwendung von Transversalwellen (Prüffrequenz $f = 55 \text{ kHz}$) bestimmte Insektenschäden detektierbar sind. Der Fraßschaden unterscheidet sich vom ungeschädigten Holz durch eine Abschattung der Rückwand, während das gesunde Holz durch eine deutliche Reflexion an der Bauteilrückseite erkannt wird. Sind Fraßgänge der Larven nur vereinzelt oder lokal vorhanden, führten sie nur zu einer Dämpfung und nicht zur Auslöschung des Signals. Der Schaden war dann nicht detektierbar. Zugleich verhinderten Oberflächenwellen die Auswertung oberflächennaher Holzschichten auf Insektenfraß. Der störende Einfluss von Oberflächenwellen, die eine „tote Zone“ bewirken und damit die Auswertung oberer Holzschichten verhindern, wird auch von HASENSTAB (2005) beschrieben.

Waren Rissbildungen im Holz, kam es am Riss zur Totalreflektion. Der Bereich hinter dem Riss war nicht mehr auf Insektenschäden prüfbar. Somit sind Hölzer, die größere Schwindrisse aufweisen, mit diesem Verfahren nicht über den gesamten Querschnitt auf Insektenfraß prüfbar.

Während starke Fraßschäden durch den Gewöhnlichen Nagekäfer und den Gescheckten Nagekäfer lokalisierbar waren, ist das Verfahren für den Gekämmten Nagekäfer nicht sicher anwendbar. Es bestand das Phänomen, dass bei stark befallenem Rotbuchenholz Abschattungen für Schäden und zugleich Rückwandechos für gesundes Holz auftraten. Trotz nachweislicher Insektenschädigung wurden klare Echos empfangen. Es ist zu vermuten, dass die Ursache in der Biologie dieser Nagekäferart begründet liegt. Im Vergleich zu den beiden anderen Arten stopfen die Larven des Gekämmten Nagekäfers die Fraßgänge mit Bohrmehl zu einem soliden Docht aus (CYMOREK 1974, 1982), während beim Gewöhnlichen Nagekäfer und beim Gescheckten Nagekäfer das Bohrmehl eher locker im Fraßgang verbleibt (HICKIN 1972). Damit konnten trotz Schädigung Schallwellen an der Bauteilrückseite reflektiert werden. Für den Gekämmten Nagekäfer ist das Ultraschallechoverfahren daher auch bei mehreren Messpunkten derzeit als kaum geeignet für den Praxiseinsatz einzustufen.

Eine Lokalisierung von Insektenschäden war mit dem Echoverfahren ebenso wie beim Bohrwiderstandsverfahren bei vorhandenem Pilzbefall nicht möglich. Die beginnende Fäule führt zu einer Absorption der Schallsignale (Hasenstab 2005). Damit kann mittels Ultraschall-echotechnik nicht zwischen Pilzbefall und Insektenschaden unterschieden werden. Für den Gescheckten Nagekäfer, der pilzbefallenes Holz bevorzugt, entzieht sich das Verfahren daher weitgehend.

Beide Prüfverfahren besitzen für die Untersuchung auf Insektenschäden neben dem Vorteil der Substanzschonung die benannten Einschränkungen und Grenzen. Eine Kombination beider Verfahren verbessert die Diagnose. Um die Prüfverfahren anwenden zu können, bedarf es fundierter Kenntnis zur Biologie der Insekten und zur Anatomie des Holzes. Beide apparative Verfahren bleiben damit dem Fachmann vorbehalten.

5 Zusammenfassung

Die Diagnose von Insektenbefällen ist ein wichtiger Bestandteil zur Einschätzung erforderlicher Erhaltungsmaßnahmen. Im nachhaltigen Bauen gewinnt die Minimierung des Biozideinsatzes zunehmend an Bedeutung. Die Anwendung biologischer, biotechnischer und baulicher Maßnahmen stellt im Holzschutz neue ökologische Lösungswege dar.

Die Untersuchungen in den historischen Bauwerken Mecklenburgs innerhalb eines Territoriums von rd. 7.300 km² weisen auf den Gewöhnlichen Nagekäfer (*Anobium punctatum*) als häufigsten Holzschädling hin. Im Lebensraum synanthroper Nagekäferarten wurden zahlreiche natürliche Feinde nachgewiesen. Aus der Familie der Buntkäfer handelte es sich um vier prädatorische Arten: Blauer Fellkäfer (*Korynetes caeruleus*), Hausbuntkäfer (*Opilo domesticus*), Weicher Buntkäfer (*Opilo mollis*) und Schwarzflügeliger Holzbuntkäfer (*Tillus elongatus*). Der Blaue Fellkäfer ist die am häufigsten nachgewiesene Spezies. Die Art wurde mit Ausnahme eines Bauwerkes in allen schädlingsbefallenen Untersuchungsgebäuden festgestellt.

Für den Hausbuntkäfer erfolgte ein Neufund der Spezies erstmalig wieder seit 1950 für Mecklenburg. Der Nachweis des Schwarzflügeligen Holzbuntkäfers im Bauwerk, lässt eine bisher nicht bekannte Synanthropie der Art vermuten. Unter den parasitoiden Wespen wurden Brackwespen (Braconidae) der Arten *Spathius exarator* und *Hecabolus sulcatus* als natürliche Feinde nachgewiesen. Die erstgenannte Art parasitiert den Gewöhnlichen Nagekäfer (*Anobium punctatum*), die zweitgenannte Art nutzt den Gekämmten Nagekäfer (*Ptilinus pectinicornis*) als Wirt.

Papierabklebung und Klebefallen sind geeignete Monitoringinstrumente im Konzept der integrierten Schädlingsbekämpfung. Sie ermöglichen eine Überwachung von Bauwerken auf Befall durch Holz zerstörende Insekten und deren natürlicher Feinde. Mit der Papierabklebung können Schädling und Nützling eindeutig bestimmt werden. Anhand charakteristischer Schlupflochmerkmale im Papier ist eine Bestimmung der nachgewiesenen Nagekäfer- und Buntkäferarten bis auf Artniveau möglich. Parasitoide Wespen werden auf Ordnungsniveau erkannt. Mit der Papierabklebung kann direkt am Bauteil ein Befallsnachweis erfolgen, ohne dass ein Abfangen der Tiere erfolgt. Auf der Grundlage des Befallsnachweises kann eine Einstufung zur Priorität von Bekämpfungsmaßnahmen erfolgen.

Der Nachteil von Klebefallen sind unerwünschte Beifänge. Der Beifang von Nicht-Ziel-Arthropoden war mit den unbeköderten Klebefallen stets höher wie die der Schädlinge. Die höchste Effizienz zur Detektion des Schädlings unter Schonung des Nützlings wurde mit der einfarbig weißen, hängend angeordneten Klebefalle nachgewiesen. Mit dieser Fallenanordnung wurden die meisten Nagekäfer, aber keine Buntkäfer gefangen. Der höchste Anteil an Buntkäfern wurde mit der mehrfarbigen, liegend angeordneten Klebefalle gefangen, die auch prozentual die meisten unerwünschten Beifänge an sonstigen Gliederfüßern aufwies. Ein Fangen von Buntkäfern mit der hängend angeordneten Falle wird vermutlich durch die hohe

Abflugtemperatur des Blauen Fellkäfers (*K. caeruleus*) verhindert. Sie wurde mit $> 26\text{ °C}$ im Schatten ermittelt. Notwendige Schutzmaßnahmen für Wirbeltiere wurden durch eine Umhüllung oder Abdeckung der Klebefallen mit Drahtgitter oder Folie erreicht. Ein Fangen von Wirbeltieren wurde damit verhindert. Beeinträchtigungen in der Falleneffektivität bezüglich der Zielorganismen wurden durch die Schutzmaßnahmen nicht beobachtet. Der Beifang von Nicht-Ziel-Arthropoden konnte leicht reduziert werden.

Die Bestimmung der Populationsstärke von Nützlingen lieferte Informationen zum Anteil der Nützlinge an der Reduktion der Schädlinge. Mit der liegend ausgelegten Klebefalle betrug das Zahlenverhältnis gefangener adulter Bunt- und Nagekäfer im ersten Untersuchungsjahr 1 : 3 und im zweiten Untersuchungsjahr 1 : 3,5. Für die Papierabklebung betrug das ermittelte Zahlenverhältnis 1 : 56 bzw. 1 : 67. Daher ist zu vermuten, dass Buntkäfer von Außen in das Bauwerk zufliegen. Ein statistischer Zusammenhang zwischen Papierabklebung und Klebefalle war nur für die untersuchten Nagekäferarten erkennbar. Für die Buntkäfer bestand er nicht.

Die erste Schädlingsart, die im Frühjahr schlüpfte war der Gescheckte Nagekäfer (*Xestobium rufovillosum*). Der Schlupf im Bauwerk begann im April und erreichte seine größte Ausschluftpaktivität im Mai. Mit einer guten zeitlichen Synchronisation schlüpfte der Weiche Buntkäfer (*O. mollis*), als natürlicher Feind, ebenfalls ab April. Der Schlupf begann ab $9,5\text{ °C}$ und erreicht für beide Arten seinen Höhepunkt bei 12 °C . Unmittelbar nach dem Schlupf des Prädatoren wurde der Gescheckte Nagekäfer als Beute angegriffen und alle Weichteile ausgefressen. Da verschiedene angebotene adulte Nagekäferarten durch die Imago des Weichen Buntkäfers konsumiert wurden, ist eine polyphage Veranlagung zu vermuten.

Der Gekämmte Nagekäfer (*P. pectinicornis*) schlüpfte im Laborversuch vom Mitte April bis Mitte Juni gemeinsam mit seinem natürlichen Gegenspieler dem Schwarzflügeligen Holzbuntkäfer (*T. elongatus*). Das aus der Zucht ermittelte Räuber-Beute-Verhältnis betrug 1 : 2,2. Der Prädatoren benötigte einen Reifungsfraß, um zur Eiablage zu kommen. Die im Einzelversuch ermittelte Einanzahl des Schwarzflügeligen Holzbuntkäfers betrug 11 Eier, die als Cluster abgelegt wurden. Die Eiablage erfolgte 29 Tage nach dem Zusammensetzen der Partner.

Der Gewöhnliche Nagekäfer (*A. punctatum*) besaß seinen Hauptschlupf im Juli. Er schlüpfte rund zwei Monate später als sein Gegenspieler der Blaue Fellkäfer (*K. caeruleus*). Dem adulten Cleriden standen somit die Imagines des Gewöhnlichen Nagekäfers als Beute nicht zur Verfügung. Das natürliche Nahrungsspektrum blieb unbekannt. Der Blaue Fellkäfer verpuppte sich im Spätsommer und überwinterte als voll entwickelter Käfer im Holzsubstrat. Er nutzte dafür Puppenkammern des Gewöhnlichen Nagekäfers, die er mit weißem Sekret auskleidete. Das alte Anobien schlupfloch wurde mit Bohrmehl fest verschlossen und war durch eine leichte Erhöhung an der Holzoberfläche sichtbar. Ein fehlender Anpressdruck im Holzsubstrat führte zu Missbildungen am Käfer. Die mittlere Puppenruhe dieser Buntkäferart betrug 25,7 Tage.

Buntkäferlarven kommen über die Anobien schlupflöcher auf die Holzoberfläche. Insbesondere die Larven des Blauen Fellkäfers verließen Ende April/Anfang Mai, kurz vor dem Schlupf der

Imagines das Holzinne. Während ihrer Suche nach Beute stießen sie Bohrmehl aus den Schlupflöchern heraus und erzeugten Bohrmehlhäufchen. Schleif- und Kriechspuren der Buntkäferlarven im ausgestoßenen Bohrmehl dokumentierten deren Aktivität. Sie können tief in das Holzinne eindringen und haben damit Vorteile gegenüber der parasitoiden Wespe. Die in den Bauwerken vorherrschenden klimatischen Bedingungen ermöglichten eine Entwicklung der Schädlingspopulation. Es wurden Holzfeuchten in einer Spannweite von 14% bis 19% als Monatsmittelwert gemessen. Zum Frühlingsbeginn wurden kondensationsbedingt Holzfeuchten über 20% erreicht. Der Jahresmittelwert der in den Gebäuden ermittelten relativen Luftfeuchten sank nicht unter 70%.

Durchgeführte Fütterungsversuche zeigten, dass Buntkäferlarven die als Futter angebotenen Larven des Tabakkäfers (*Lasioderma serricorne*) als nicht natürliche Beutetiere akzeptierten. Die anderen postembryonalen Käferstadien des Vorratsschädling wurden nicht angenommen. Die Anzahl wöchentlich gefressener Tabakkäferlarven betrug für alle vier Buntkäferspezies im Mittel 2,5 Futtertierlarven je Buntkäferlarve.

Im Zuchtversuch häuteten sich die Buntkäferlarven alle sechs bis zehn Wochen. Der Weiche Buntkäfer (*O. mollis*) häutete sich häufiger als der Blaue Fellkäfer (*K. caeruleus*). Larven die sich mehr als fünfmal häuteten entwickelten sich nicht zum Vollinsekt und verstarben. Tiere die zur Verpuppung kamen, vollzogen zwei bis vier Häutungen.

Die Lebensdauer adulter Buntkäfer ist begrenzt. Im Labor gefütterte Imagines des Blauen Fellkäfers wiesen in Gruppenhaltung eine mittlere Lebensdauer von 23,5 Tagen auf. Für den Weichen Buntkäfer wurde bei Einzelhaltung eine Lebensdauer von maximal 70 Tagen und für den Schwarzflügeligen Holzbuntkäfer von maximal 52 Tagen für verpaarte Tiere ermittelt, bevor der natürliche Alterstod eintrat. Durch die kurze Lebensdauer der Adulten ist deren Einfluss auf die Schädlingspopulation vermutlich vernachlässigbar.

Die Generationsdauer der Buntkäfer ist mehrjährig. Eine massenhafte Vermehrung der Tiere zum Aussetzen in schädlingbefallenen Bauwerken wurde nicht erreicht. Für eine biologische Bekämpfung im sogenannten Überschwemmungsverfahren (KRIEG & FRANZ 1989) sind Buntkäfer daher keine optimalen Kandidaten. Eine große prädatorische Bedeutung erfüllen sie jedoch im Bauwerk. Sie tragen zur Minderung des Schädling in seinem natürlichen Lebensraum bei. Die Einführung von Buntkäfern in schädlingbefallene Bauwerke lässt eine Befallsreduzierung erwarten und den Einsatz chemischer Mittel auf ein Mindestmaß begrenzen. Im integrierten Konzept des Holzschutzes sind Buntkäfer eine wichtige biologische Komponente.

Die durchgeführten Begasungen mit Sulfuryldifluorid lassen für die Larven des Blauen Fellkäfers keine höhere Widerstandsfähigkeit im Vergleich zu den Larven des Gewöhnlichen Nagekäfers erkennen. Ein ct-Produkt von 360 gh/m³ bis 2.160 gh/m³ bei 16 °C bis 17 °C und 70% r.F. führte zur vollständigen Abtötung von Schädling und Nützling, während bei 120 gh/m³ Tiere beider Arten überlebten. Sowohl beim Schädling als auch beim Nützling wurde eine Nachsterblichkeit beobachtet. Die in den Begasungsversuchen eingesetzten Holz-

prüfkörper waren zur Überwachung des Begasungserfolges geeignet. Das zum Verschließen der Prüfkörper verwendete Silikon übte keinen nachteiligen Einfluss auf die Mortalität aus. Gazebehälter sind Holzklotzchen zur Aufnahme der Prüftiere vorzuziehen, da die Organismen leicht in den Prüfklotz eingesetzt und wieder entnommen werden können.

Zur substanzschonenden Beurteilung von Insektenschäden im Holzinneren sind die Bohrwiderstandsmethode und die Ultraschallechomessung mit Transversalwellen ($f = 55 \text{ kHz}$) begrenzt anwendbare Verfahren für die Vorortuntersuchung. Bei der Bohrwiderstandsmessung werden Fraßgänge durch Kurvoneinbrüche im Bohrwiderstandsprofil dargestellt. Eine fortgeschrittene Zerstörung des Holzes ermöglicht die sichere Detektion von Fraßschäden der Insektenlarven, während bei Engjährringigkeit und nur einzelnen Fraßgängen die Abbildung undeutlich ist. Eine Artunterscheidung ist mit dem Verfahren nicht möglich. Für den Gekämmten Nagekäfer besaß die Bohrwiderstandsmethode deutliche Grenzen. Verstopfte und schmale Gänge waren in zerstreutporigen Laubhölzern nur schwer detektierbar. Die Fraßgänge mussten einen Durchmesser von mehr als 1 mm aufweisen, um erkannt zu werden.

Beeinflussende Faktoren des Ultraschallechoverfahrens sind Bauteilabmessung, Rissbildung, Insektenart und Befallsintensität. Eine Untersuchung der Holzsubstanz hinter Rissbildungen war infolge der Totalreflexion am Riss nicht möglich und Fraßschäden in den oberen Holzschichten wurden infolge von Oberflächenwellen nur unsicher erfasst.

Für die Detektion von Schäden des Gekämmten Nagekäfer ist das Echoverfahren nicht sicher anwendbar. Es ist zu vermuten, dass die fest mit Bohrmehl ausgestopften Fraßgänge Schallwellen trotz Schädigung auf der Bauteilrückseite reflektieren. Der vorhandene Fraßgang erschien nicht als Hohlraum und zeigt damit die Schädigung nicht an.

Eine Lokalisierung von Insektenschäden bei gleichzeitiger Pilzschädigung im Holz ist mit beiden apparativen Verfahren nicht möglich. Der Pilzschaden führt zum Abfall des Bohrprofils bzw. zur Absorption der Schallsignale.

Summary

The diagnosis of insect infestation is an important component in the estimation of the required preservation measures. In sustainable construction the minimization of biocide use is becoming increasingly more important. The use of biological, biotechnical and structural measures represents new ecological approaches to solutions in wood preservation.

My investigations in Mecklenburg's historical buildings in a territory of approximately 7,300 km² indicate that the common furniture beetle (*Anobium punctatum*) is the most frequent wood pest. Many natural predators have been ascertained in the habitat of synanthropic anobiid beetle species. This includes four predatory species from the family of the checkered beetles (Cleridae): the blue clerid beetle (*Korynetes caeruleus*) and the checkered beetles *Opilo domesticus*, *Opilo mollis* and *Tillus elongatus*. The blue clerid beetle (*Korynetes caeruleus*) is the most frequently identified species. With exception of one building, this species was found in all investigated buildings that were infested with wood-destroying pests.

Regarding the checkered beetle *Opilo domesticus*, this was the first time that the species has been found in Mecklenburg since 1950. The verification of the checkered beetle *Opilo domesticus* in a building, supports the assumption of a previously unknown synanthropy of this species. Among the parasitoid wasps, braconid wasps (Braconidae) of the species *Spathius exarator* and *Hecabolus sulcatus* were shown to be natural predators. The former species parasitizes the common furniture beetle (*Anobium punctatum*), whereas the latter species uses the hardwood anobiid (*Ptilinus pectinicornis*) as its host.

Paper covers and sticky traps are appropriate monitoring instruments in the concept of integrated pest management. They allow monitoring of buildings for infestation by wood-destroying insects and their natural predators. Pests and beneficials can be unambiguously identified by means of paper covers. Based on the specific emergence hole characteristics in the paper, identification of the verified anobiid and checkered beetle species to the species level is possible. Parasitoid wasps can be determined to the level of orders. With the paper cover method, proof of infestation can be obtained directly on the structural member without having to capture the animals. Using the proof of infestation as a basis, the assignment of priorities to control measures is possible.

The disadvantage of sticky traps are the undesired by-catches. The by-catch of non-target arthropods was always higher with the unbaited sticky traps than that of the pests. The greatest efficiency in the detection of pests while protecting the beneficials was determined for plain white, hanging sticky traps. With this trap arrangement the majority of the anobiid beetles, but no checkered beetles, were caught. The highest fraction of checkered beetles was caught with multicoloured horizontally arranged sticky traps, which also caught the largest number of undesired by-catches containing other arthropods. Capture of checkered beetles with hanging traps is probably prevented by the high take-off temperature of the blue clerid beetle. It has been determined to be >26 °C (>78,8 °F) in the shade. Required

protective measures for vertebrates were achieved by means of enclosing or covering the sticky traps with wire mesh or foil. Capture of vertebrates was completely avoided in this manner. With reference to the target organisms, impairment in the trap effectiveness resulting from the protective measures was not observed. By-catching of non-target arthropods could be easily reduced.

The determination of the population strength of beneficials provided information on the contribution of the beneficials to the reduction of the pests. With the horizontally arranged sticky traps, the numerical ratio of captured adult checkered and anobiid beetles in the first investigational year 1 : 3 and in the second investigational year, 1 : 3.5. For the paper covering the determined numerical relationship was 1 : 56 and 1 : 67, respectively. Therefore, it must be assumed that the checkered beetles fly into the building from the outside. A statistical correlation between paper covering and sticky traps could only be ascertained for the investigated anobiid species. It did not exist for the checkered beetles.

The first pest species which emerged in the spring was the death watch beetle (*Xestobium rufovillosum*). The emergence in the building began in April and reached peak emergence activity in May. With good temporal synchronization, the checkered beetle *Opilo mollis*, their natural enemy, also emerged from April. Emergence began from 9.5 °C (49,1 °F) and achieved its peak value at 12 °C (53,6 °F). Immediately after emergence of the predator, the death watch beetle was attacked as prey and all of its soft tissue was eaten. Since various adult anobiid beetles were consumed by the imago of the checkered beetle *Opilo mollis* in prey selection experiments, the species is to be assumed to be polyphagous.

In laboratory experiments the hardwood anobiid (*P. pectinicornis*) emerges from the middle of April until the middle of June concurrently with its natural antagonist, the checkered beetle *Tillus elongatus*. The predator-prey ratio determined in culture experiments was 1 : 2.2. The predator requires maturation feeding in order to begin oviposition. The egg number of the checkered beetle *Tillus elongatus*, which was determined in a single experiment, was 11 eggs laid as a cluster. Oviposition occurred 29 days after the mates were placed together.

The common furniture beetle (*A. punctatum*) had its main emergence period in July. It emerged approximately two months later than its antagonist the blue clerid beetle (*K. caeruleus*). Consequently, the imagines of the common furniture beetle were initially not available to the adult checkered beetles as prey. The natural trophic spectrum remained unknown. The blue clerid beetle pupates in late summer and overwinters as a completely developed beetle in the wood substrate. It uses the pupal chambers of the common furniture beetle, which it lines with white secretion, for this purpose. The old anobiid emergence hole was tightly sealed with frass and was visible as the result of a slight elevation on the wood surface. A lack of contact pressure in the wood substrate resulted in deformities in the beetle. The mean pupation period of this checkered beetle species was 25.7 days.

Checkered beetle larvae reach the wood surface via anobiid emergence holes. In particular, the larvae of the blue clerid beetle leave the wood's deeper layers at the end of April or the beginning of May shortly before the emergence of the imagines. During their search for prey they shove frass out of the emergence holes and produce small piles of frass. Dragging marks and larval trails of checkered beetle larvae in expelled frass documents their activity. They can penetrate deeply into the interior of the wood and therefore have advantages compared to parasitoid wasps.

The climatic conditions which predominate in these buildings facilitated the development of the pest population. Wood moistures in range of 14 to 19% were measured as a monthly mean value. At the beginning of spring, condensation-induced wood moisture contents of greater than 20% are observed. The annual average value of the relative atmospheric humidity did not drop below 70%.

Performed feeding experiments showed that checkered beetle larvae accepted larvae of the tobacco beetle (*Lasioderma serricorne*) which were offered as non-natural prey animals. The other postembryonic beetle stages of this stored-product pest were not accepted. The number of tobacco beetle larvae eaten weekly was 2.5 feed animal larvae per checkered beetle larva for all four checkered beetle species on average.

In culture experiment the checkered beetle larvae molted every six to ten weeks. The checkered beetle *O. mollis* molted more frequently than the blue clerid beetle (*K. caeruleus*). Larvae which molted more than five times did not develop into adult insects and died. Animals which underwent pupation completed two to four molts.

The life span of adult checkered beetles is limited. In the laboratory the fed imagines of the blue clerid beetle exhibited a mean life span of 23.5 days in group cultures. For the checkered beetle *Opilo mollis* in individual culture a life span of maximally 70 days was determined and for the checkered beetle *Tillus elongatus* a life span of 52 days was observed for mated animals before natural death due to old age occurred. Due to the short life spans of the adults, their influence on the pest population is presumably negligible.

The generation length of the checkered beetles stretches over several years. Mass development of these animals for release in the pest-infested buildings was not achieved. Therefore, checkered beetles do not appear to be an optimum candidate for biological control using the so-called inundation method (KRIEG & FRANZ 1989). However, they are of great predatory importance in the building itself. They contribute to reduction of the pest species in their natural habitat. The introduction of checkered beetles in pest-infested buildings allows expectation of infestation reduction and restriction of chemical means to a minimum. Checkered beetles are an important biological component in an integrated concept of wood preservation.

The larvae of the blue clerid beetle did not exhibit any higher resistance to fumigations performed with sulfuryl fluoride than did the larvae of the common furniture beetle. A product of 360 gh/m³ to 2,160 gh/m³ at 16 to 17 °C and 70% RH resulted in the complete decimation

of pests and beneficials, whereas at 120 gh/m³ animals of both species survived. Both the pest and the beneficial subsequently exhibited late mortality. The wooden control blocks used in the fumigation experiments were appropriate for monitoring the fumigation success. The silicone used to seal the test control did not exert any disadvantageous influence on the mortality. Gauze containers are to be preferred over wooden blocks to accommodate the test animals as the organisms can be easily inserted into and removed from the control block.

For the substance-protecting assessment of insect damage inside the wood, the drill resistance method and ultrasonic echo measurement with transverse waves ($f = 55 \text{ kHz}$) can be used to a limited extent for the on-site examination. In the drilling resistance measurement feeding galleries are depicted by discontinuities in the curves in the drilling resistance profile. An advanced destruction of the wood allows certain detection of feeding damage due to insect larvae, whereas in cases of tightly spaced annual rings and only isolated feeding galleries the depiction is unclear. Species differentiation is impossible with this method. For the hardwood anobiid the drilling resistance method had definite limits. Clogged and narrow galleries could only be detected with difficulty in diffuse-porous hardwoods. The feeding galleries had to exhibit a diameter of more than 1 mm in order to be detected.

Influencing factors of the ultrasonic echo method are structural element dimensions, crack formation, the insect species and infestation intensity. An examination of the wood substance behind cracks was impossible due to the total reflection at the crack and feeding damage in the upper wood layers were only registered with uncertainty due to surface waves.

For the detection of damage caused by the hardwood anobiid, the echo method cannot be used with certainty. It has to be assumed that the feeding galleries, which are tightly filled with frass, reflect the sound waves despite the damage on the rear side of the structural element. The existing feeding gallery did not appear as a cavity and therefore did not indicate the damage.

A localisation of insect damage in cases involving concurrent fungus damage in the wood is also impossible with the two equipment-based methods. The fungus damage results in a drop in the drilling profile or to absorption of the ultrasonic signals, respectively.

6 Ausblick

Die auf europäischer Ebene für die Zukunft zu erwartende weitere drastische Einschränkung im Einsatz von Bioziden lässt biologische und biotechnische Methoden in den Vordergrund rücken. Der Holzschutz, der Forstschutz und der Vorratsschutz besitzen somit eine gemeinsame Basis. Die Entwicklung integrierter Konzepte sollte daher zukünftig interdisziplinär ausgerichtet werden.

Für den praktischen Holzschutz ist es von großer Bedeutung, den Einfluss natürlicher Feinde auf die Populationsentwicklung der Holz zerstörenden Insekten besser zu verstehen. Verschiedene natürliche Feinde sind bekannt. Will man mehr über die für den Holzschutz wichtigen Organismen erfahren, müssen die Monitoringstrategien für die Nützlingsarten weiter ausgebaut werden.

Biologische Bekämpfungen können umweltfreundlich ohne Biozideinsatz und technischen Aufwand durchgeführt werden. Daher ist die Entwicklung dieser Bekämpfungsmaßnahmen gegen Holzschädlinge gerechtfertigt. Zukünftige Bemühungen sollten auf bekannte räuberische und parasitische Arten von Gliederfüßern ausgerichtet sein.

Die größte Hürde für die Anwendung der biologischen Bekämpfung ist die Massenproduktion von Gegenspielern. Daher müssen neben der eigentlichen Zucht der Antagonisten noch gut züchtbare Futter- oder Wirtstiere gefunden werden. Die weitere Forschung im Holzschutz sollte sich auf diesen Aspekt konzentrieren.

Die Biologie der Buntkäfer sollte weiter erforscht werden, um wertvolle Informationen zu deren Anteil an der Reduktion von Schädlingen zu erhalten. Damit würden sich neue Möglichkeiten für eine integrierte Schädlingsbekämpfung im Bauwerk eröffnen. Unter der Beachtung von Lebensdauerdaten sollte geprüft werden, ob auch für das Gebäude die in der Landwirtschaft verwendeten Schwellenwerte für Holzschädlinge eingeführt werden könnten. Möglicherweise wäre für Bauwerke aus Holz, die befallen werden, bei planmäßig kürzerer Lebensdauer sogar ein Verzicht auf eine vollständige Befallsabtötung tolerierbar. In der Landwirtschaft gibt es bereits Schwellenwerte anhand von Fangzahlen der Schädlinge, bei deren Erreichen mit der Bekämpfung erst begonnen wird.

Die Einführung des integrierten Ansatzes wird für das Management holzschädigender Insekten im Bauwerk unter vorrangiger Berücksichtigung biologischer, biotechnischer und baulicher Maßnahmen, auch wegen der erfolgsversprechenden Ergebnisse dieser Arbeit, für den Holzschutz empfohlen.

Perspective

The further expected drastic restriction in the use of biocides on a European level in the future will result in an increase in the importance of biological and biotechnical methods. Thus, wood preservation, forest protection and stored-product protection have a common basis. The development of integrated concepts should consequently be interdisciplinarily oriented in the future.

For practical wood preservation it is extremely important to better understand the influence of natural predators on the population development of the wood-destroying insects. A number of different natural predators are known. If one wants to know more about the organisms which are important for wood preservation, the monitoring strategies for the beneficial species must be further expanded.

Biological management measures can be conducted in an environmentally compatible manner without the use of biocides and high technical complexity. Therefore, the development of these control measures against wood-destroying pests is justified. Future efforts should be oriented toward known predatory and parasitic arthropod species.

The biggest hurdle for the application of biological control is the mass production of antagonists. Consequently, in addition to the culture of the antagonists itself, easily cultured feed or host animals must be found. Future research in wood protection should concentrate on this aspect.

The biology of the checkered beetles should be further investigated in order to obtain valuable information with regard to their part in the reduction of insect pests. In this manner new possibilities for an integrated pest management in buildings will become available. Under consideration of the length of life data, whether the threshold values used in agriculture could also be introduced for wood-destroying pests in buildings should be investigated. Furthermore, for an intended shorter service life it is conceivable that dispensing with a complete decimation of the infestation for wooden buildings which become infested could be tolerated. In agriculture there are already threshold values that are based on the number of trapped pests; control is only initiated if they have been reached.

Under primary consideration of biological, biotechnical and structural measures and also because of the promising results of this paper, the introduction of an integrated approach for the management of wood-destroying insects in building is recommended for wood preservation.

7 Literatur

- AHRENS, D.: Verzeichnis der Käfer Mecklenburg-Vorpommerns. In: KÖHLER F., KLAUSNITZER, B. (Hrsg.): Entomofauna Germanica: Verzeichnis der Käfer Deutschlands. In: Entomologische Nachrichten und Berichte Beiheft 4/1998, S. 15–16
- AUDISIO, P.: I Cleridae E Gli Endomychidae delle isole Ponziane. In: *Fragmenta Entomologica* 12/1976, S. 159–162
- BAHILLO DE LA PUEBLA, P., COLÓN, J. I. L.: El género *Opilo* Latreille, 1802 en la Península Ibérica (Coleoptera, Cleridae). In: *Boletín de la Asociación Española de Entomología* 24(1–2) 2000, S. 213–227
- BAKER, J. M.: Flight behaviour in some anobiid beetles. In: *Proceedings XIIth International Congress of Entomology, 1964, London*, S. 319–321
- BAKKE, A., KVAMME, T.: Kairomone response by the predators *Thanasimus formicarius* and *Thanasimus rufipes* to the synthetic pheromone of *Ips typographus*. In: *Norwegian Journal of Entomology* 25(1) 1978, S. 41–43
- BAKKE, A., KVAMME, T.: Kairomone response in *Thanasimus* Predators to pheromone components of *Ips typographus*. In: *Journal of Chemical Ecology* 7(2) 1981, S. 305–312
- BARAK, AV., WANG, Y., ZHAN, G., WU, Y., XU, L., HUANG, Q.: Sulfuryl Fluoride as a Quarantine Treatment for *Anoplophora glabripennis* (Coleoptera: Cerambycidae) in regulated wood packing material. In: *Commodity treatment and quarantine Entomology* 99(5) 2006, S. 1628–1635
- BECKER, G.: Beobachtungen über Schädlichkeit, Fraß und Entwicklungsdauer von *Anobium punctatum* DeGeer („Totenuhr“). In: *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten (Pflanzenpathologie) und Pflanzenschutz* 50/1940, S. 159–173
- BECKER, G.: Ökologische und physiologische Untersuchungen über die holzerstörenden Larven von *Anobium punctatum* de Geer. In: *Zeitschrift für Morphologie und Ökologie der Tiere* 39(2) 1942, S. 98–152 (1942 a)
- BECKER, G.: Untersuchungen über die Ernährungsphysiologie der Hausbockkäferlarven. Bundesanstalt für Materialprüfung Berlin-Dahlem, Fachbereich Werkstoff-Biologie, Sonderdruck aus: *Zeitschrift für vergleichende Physiologie* 29(3) 1942, S. 317–388 (1942 b)
- BECKER, G.: Zerstörung des Holzes durch Tiere. In: MAHLKE-TROSCHEL, LIESE, J. (Hrsg.): *Handbuch der Holzkonservierung*. Berlin: Springer Verlag 1950, S. 111–165
- BECKER, G., WEBER, W.: *Theocolax formiciformis* Westwood (Hym. Chalcid), ein Anobienparasit. In: *Zeitschrift für Parasitenkunde* 15/1952, S. 339–356
- BECKER, G.: Räuber und Parasiten holzerstörender Insekten in Gebäuden. Verhandlungen auf der 12. Mitgliederversammlung der deutschen Gesellschaft für Angewandte Entomologie e. V., Berlin: Parey Verlag, 1954, S. 75–86
- BECKER, G.: Holzbestandteile und Hausbocklarvenentwicklung. Bundesanstalt für Materialprüfung Berlin-Dahlem, Fachgruppe Biologische Materialprüfung, Holzschutz und Holztechnologie, Sonderdruck aus: *Holz als Roh- und Werkstoff* 21/1963, S. 285–289
- BECKER, G.: Materialschädlinge. In K. HEINZE (Hrsg.): *Leitfaden der Schädlingsbekämpfung*. Band IV, Vorrats- und Materialschädlinge (Vorratsschutz), Stuttgart: Wiss. Verlagsges. mbH, 1983, S. 269–330

-
- BECKER, H.: Die Verbreitung des Hausbockkäfers *Hylotrupes bajulus* (L.) Servile (Col., Cerambycidae), Versuch einer kartographischen Erfassung seines Vorkommens. Staatliches Materialprüfungsamt Nordrhein-Westfalen, Dortmund-Aplerbeck, 1978
- BELMAIN, S. R., BLANEY, W. M., SIMMONDS, M. S. J.: Host selection behaviour of deathwatch beetle, *Xestobium rufovillosum*: Oviposition preference choice assays testing old vs new oak timber, *Quercus* sp.. In: Entomologia Experimentalis et Applicata 89/1998, S. 193–199
- BELMAIN, ST., SIMMONDS, M. BLANEY, W. M.: Deathwatch beetle, *Xestobium rufovillosum*, in historical buildings: monitoring the pest and its predators. In: Entomologia Experimentalis et Applicata 93/1999, S. 97–104 (1999 a)
- BELMAIN, S. R., SIMMONDS M., RIDOUT B.: The Deathwatch Beetle, *Xestobium rufovillosum*, accommodated in all the best Places. In: ROBINSON, W. H., RETTICH, F., RAMBO, G. W. (Hrsg.): Proceedings of the 3rd International Conference on Insect Pests in the Urban Environment, 19–22 July 1999, Czech University of Agriculture Prague, Tschechien, Hronov: Graficke zavody 1999, 407–414 (1999 b)
- BELMAIN, ST., SIMMONDS M., RIDOUT B.: The Deathwatch Beetle – Accommodated in all the best Places. In: Pesticide Outlook 12/2000, S. 233–237
- BELMAIN, S. R., SIMMONDS, M. J., BLANEY, W.: Life cycle and feeding habits. In: RIDOUT, B. (Hrsg.): Timber, The EC Woodcare Project: Studies of the behaviour, interrelationships and management of deathwatch beetles in historic buildings. English Heritage research transactions, 4(7) 2001, S. 6–14
- BELMAIN, ST., SIMMONDS, M. BLANEY, W. M.: Influence of odor from wood-decaying fungi on host selection behaviour of deathwatch beetle, *Xestobium rufovillosum*. In: Journal of Chemical Ecology 28(4) 2002, S. 741–754
- BERRY, W.: Controlling the Common furniture Beetle. In: Pesticide Outlook 6/1995, S. 26–30
- BERRY, R. W., LEA, R. G., HIGHAM, D.: The status of *Anobium punctatum* and *Hylotrupes bajulus* in buildings in the United Kingdom. The international research group on wood preservation, Paper prepared for the 24th Annual Meeting Orlando, USA, 16–20 May 1992
- BERRYMAN, A. A.: Factors Influencing Oviposition, and the Effect of Temperature on Development and Survival of *Enoclerus lecontei* (Wolcott). In: The Canadian Entomologist 98/1966, S. 579–585
- BERRYMAN, A. A.: Preservation and Augmentation of Insect Predators of the western Pine Beetle. In: Journal of Forestry 65/1967, S. 260–262 (1967 a)
- BERRYMAN, A. A.: Estimation of *Dendroctonus brevicomis* (Col.: Solytidae) mortality caused by insect predators. In: Canadian Entomologist 99/1967, S. 1009–1014 (1967 b)
- BINKER, G.: Report on the first fumigation of a church in Europe using sulfuryl fluoride. In: WILDEY, K. B., ROBINSON, W. H. (Hrsg.): Proceedings of the first International Conference on Insect Pests in Urban Environment, 30. Juni – 3. Juli 1993, St. John`s College, Cambridge, GB, BPCC Wheatons Ltd, Exeter, 1993, 51–55
- BINKER, G., FRÖBA, G.: Begasung der Dominikanerkirche „St. Blasius“. In: Der Praktische Schädlingsbekämpfer 1/2008, S. 14–17

- BIRCH, M., KEENLYSIDE, J. J.: Tapping behavior is a rhythmic communication in the deathwatch beetle, *Xestobium rufovillosum* (Coleoptera: Anobiidae). In: Journal of Insect Behavior 4/1991, S. 257-263
- BIRCH, M., MENENDEZ, G.: Knocking on wood for a mate. In: New Scientist 6. 7.1991, S. 42-44
- BLETCHLY, J. D., BALDWIN, W. J.: Use of X-Rays in studies of wood boring insects. In: Wood 27(12) 1962, S. 485-488
- BÖHME, J.: Die Käfer Mitteleuropas, Band K Katalog (Faunistische Übersicht), München: Elsevier Spektrum Akademischer Verlag, 2005, 515 S.
- BOOSTEN, G.: Coleoptera of Belgium. In: Bulletin & Annales de la Société Royale Belge d'Entomologie, Bruxelles 117(1-3) 1981, S. 15-16
- BRANDT, M., RINN, F.: Eine Übersicht über Verfahren zur Stammfäulediagnose. In: Holz-Zentralblatt, Stuttgart 80(7) 1989, S. 1268, 1270
- BUTOVITSCH, V.: Erhebungen über das Vorkommen und den Schaden der Holzschädlinge in Wohnhäusern in Südschweden. In: Zeitschrift für angewandte Entomologie 33/1951, S. 172-186
- CAMPBELL, W. G., BRYANT, S. A.: A chemical study of the bearing of decay by *Phellinus cryptarum* Karst. and other fungi on the destruction of wood by the Deathwatch beetle (*Xestobium rufovillosum* De g.). In: Biochemical Journal 34(10), 11/1940, S. 1404-1414
- CORPORAAL, J. B.: Coleopterorum Catalogus Supplementa Cleridae. HINCKS, W. D. (Ed.), 1950, 373 S.
- CYMOREK, S.: Über das Paarungsverhalten und zur Biologie des Holzschädlings *Ptilinus pectinicornis* L. (Coleoptera, Anobiidae). Verhandlung XI. Internationaler Kongress Entomologie, Wien 1960, Band II, 1962, S. 335-339
- CYMOREK, S.: Beiträge zur Kenntnis der Lebensweise und des Schadauftritts holzerstörender Insekten. In: Zeitschrift angewandte Entomologie 55/1964, S. 84-93
- CYMOREK, S.: *Hylotrupes bajulus* - Verpuppung und Flug, deren Klimaabhängigkeit und Beziehung zur Artverbreiterung. In: Zeitschrift angewandte Entomologie 62(3) 1968, S. 316-344
- CYMOREK, S.: Über den „Gekämmten Nagekäfer“ *Ptilinus pectinicornis* (L.) (Col. Anobiidae) als Holzerstörer, Zuchtobjekt und Testinsekt. Desowag-Bayer Holzschutz GmbH, Wissenschaftlich-Technische Abteilung, Krefeld-Uerdingen, Sonderdruck aus: Holz-Zentralblatt, Stuttgart 66/1970
- CYMOREK, S.: Familienreihe Terebrilia, Kleine Holzwürmer. In: Schwenke, W. (Hrsg.): Die Forstschädlinge Europas. Band II (Käfer), Hamburg: Verlag Paul Parey, 1974, S. 56-77
- CYMOREK, S.: Methoden und Erfahrungen bei der Zucht von *Anobium punctatum* (De Geer). In: Holz als Roh- und Werkstoff 33/1975, S. 239-246
- CYMOREK, S.: Schadinsekten in Kunstwerken und Antiquitäten aus Holz in Europa. Symposium Holzschutz, Forschung und Praxis, Desowag-Bayer Holzschutz GmbH, 1982, S. 37-56
- DE JONGE, J. T.: Remarkable Mites and Insects in and around Buildings in 1986. In: Entomologische Berichten Amsterdam 48(1) 1988, S. 18-19
- DETMERS, H. B.: Empfindlichkeit der Entwicklungsstadien von *Prostephanus truncatus* (Horn) (Coleoptera: Bostrichidae) und *Teretriosoma nigrescens* Lewis (Coleoptera: Histeridae) gegenüber Methylbromid. Dissertation an der Technischen Universität Berlin, 1993

-
- DRINKALL, M.J., DUGAST, J. F., REICHMUTH, C., SCHÖLLER, M.: The activity of the fumigant sulfuryl fluoride on stored product insect pests. In: WILDEY, K. B. (Hrsg.): Proceedings of the 2nd International Conference on Insect Pests in the Urban Environment, 7.-10. Juli 1996, Heriot-Watt University, Edinburgh, Schottland, BPC Wheatons Ltd, Exeter, GB, 1996, S. 525–528
- DROPMANN, M., WAENTIG, F., NOLDT, U.: Möglichkeiten und Grenzen des Monitorings von holzzerstörenden Insekten an Kunst- und Kulturgut – Abteikirche Marienmünster. In: NOLDT, U., MICHELS, H. (Hrsg.): Holzschädlinge im Fokus Alternative Maßnahmen zur Erhaltung historischer Gebäude. Beiträge der internationalen Tagung im LWL-Freilichtmuseum Detmold, 28.–30. Juni 2006, erschienen 2007, S. 83–90
- ECKSTEIN, F.: Über die Lebensweise von *Thanasimus (Clerus) formicarius* Latr. In: Forstwissenschaftliches Centralblatt 1921, S. 57–62
- ECKSTEIN, D., SASS, U.: Bohrwiderstandsmessungen an Laubbäumen und ihre holzanatomische Interpretation. In: Holz als Roh- und Werkstoff 52/1994, S. 279–286
- EHLBECK, J., GÖRLACHER, R.: Bohrwiderstandsmessungen an eingebautem Konstruktionsholz. Sonderdruck Erhalten historisch bedeutsamer Bauwerke, Sonderforschungsbereich 315 der Universität Karlsruhe, Jahrbuch 1989, Berlin: Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften, S. 205–215
- ENGELBRECHT, H., REICHMUTH, C.: Schädlinge und ihre Bekämpfung. Gesundheits-, Vorrats- und Holzschutz. Hamburg: Behr's Verlag, 2005, 403 S.
- FISCHER, M.: Die Braconidae des Steiermärkischen Landesmuseums „Joanneum“ in Graz (Hymenoptera, Braconidae). Abteilung für Zoologie und Botanik am Landesmuseum Joanneum, Mitteilungsheft 21/1965, S. 3–29
- FISHER, R. C.: Studies of the Biology of the Deathwatch Beetle, *Xestobium rufovillosum* De G.. In: Annals of Applied Biology 24/1937, S. 600–613
- FISHER, R. C.: Studies of the Biology of the Deathwatch Beetle, *Xestobium rufovillosum* De G.. II The habits of the adult with special reference to the factors affecting oviposition. In: Annals of Applied Biology 25/1938, S. 155–180
- FISHER, R. C.: Studies of the Biology of the Deathwatch Beetle, *Xestobium rufovillosum* De G.. III Fungal decay in Timber in Relation to the occurrence and rate of Development of the insect. In: Annals of Applied Biology 27/1940, S. 545–557
- FISHER, R. C.: Studies of the Biology of the Deathwatch Beetle, *Xestobium rufovillosum* De G.. IV The effect of type and extent of fungal decay in timber upon the rate of development of the insect. In: Annals of Applied Biology 28/1941, S. 244–260
- FRANKE, P.: Bemerkungen zum Auftreten von Bohrmehl nach Kirchenbegasungen. Holzwurmbefall: Tot oder lebend? In: Der praktische Schädlingsbekämpfer 5/2001, S. 15–21
- FRANKE, W., DETTNER, K.: Chemical Signalling in Beetles. In: Topics in Current Chemistry, The Chemistry of Pheromones and Other Semiochemicals II 240/2005, Berlin: Springer Verlag, S. 85–166
- FRANZKE, A., KAUFMANN, O., SCHUCH, K.: Die Hausbockkäferfrage im Jahre 1938, Folgerungen aus der deutschen Hausbockkäferstatistik, Zur Physiologie und Ökologie des Hausbockkäfers. Verband öffentlicher Feuerversicherungsanstalten in Deutschland, Berlin-Dahlem, 1938, 35 S.

- GAUSS, R.: Der Ameisenbuntkäfer *Thanasimus* (Clerus) *formicarius* Latr. als Borkenkäferfeind. In: WELLENSTEIN, G. (Hrsg.): Die große Borkenkäferkalamität in Südwestdeutschland 1944–1951. Ulm: Ebner, 1954, S. 417–429
- GEISER, R.: Rote Liste der Käfer (Coleoptera) – Diversicornia. In: BINOT, M., BLESS, R., BOYE, P., GRUTKE, H., PRETSCHER, P.: Rote Liste gefährdeter Tiere Deutschlands. Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz 55/1998, S. 194–201
- GERSTMEIER, R.: Biologie und Verbreitung der Buntkäfer in Bayern (Coleoptera, Cleridae). In: Schriftenreihe Bayerisches Landesamt für Umweltschutz 77/1987, S. 7–16
- GERSTMEIER, R.: Checkered beetles. Weikersheim: Markgraf Verlag 1998, 241 S., 8 Bildtafeln
- GÖRLACHER, R., HÄTTICH, R.: Untersuchung von altem Konstruktionsholz: Die Bohrwiderstandsmessung. In: Holzbau-Statik-Aktuell 2/1992, S. 10–14
- GOULSON, D., BIRCH, M. C., WYATT, T. D.: Mate location in the deathwatch beetle, *Xestobium rufovillosum* De Geer (Anobiidae): orientation to substrate vibrations. In: Animal Behaviour (United Kingdom) 47/1994, S. 899–907
- GROSSER, D.: Pflanzliche und tierische Bau- und Werkholzschildlinge. Leinfelden-Echterdingen: DRW-Verlag 1985, 159 S.
- HABER, F.: Zur Geschichte des Gaskrieges. In: Fünf Vorträge aus den Jahren 1920–1923. Berlin: Springer Verlag 1924, S. 76–92
- HAGET, A.: L'élevage au laboratoire de *Thanasimus formicarius* L. (Col.: Cleridae), prédateur de Bostryches. In: Revue de Zoologie agricole et appliquée 49(4–6) 1950, S. 17–34
- HAGSTRUM, D. W., FLINN, P. W., SUBRAMANYAM, B., KEEVER, D. W., CUPERUS, G. W.: Interpretation of Trap Catch for Detection and Estimation of Stored-Product Insect Populations. In: Journal of the Kansas Entomological Society 63(4) 1990, S. 500–505
- HANSEN, L. S.: The Common Furniture Beetle *Anobium punctatum* (Coleoptera: Anobiidae) in Danish Churches – Pest Densities and Moisture Conditions Monitored for Three Years. Proceedings 3rd Nordic Symposium on Insect Pest Control in Museums, 24.–25. Sept., 1998, Stockholm, Schweden, S. 130–138
- HASENSTAB, A.: Integritätsprüfung von Holz mit dem zerstörungsfreien Ultraschallechoverfahren. Dissertation an der Technischen Universität Berlin 2005
- HASENSTAB, A., KRAUSE, M.: Ultraschallechoverfahren am Holz. In: CZIESIELSKI, E. (Hrsg.): Bauphysik-Kalender 2004, Berlin: Ernst & Sohn, 2004, Kap. C 1, 2. Strukturauflösung, Abschn. 2.5, S. 252–258
- HAUSTEIN, T., VON LAAR, C., NOLDT, U.: Holz zerstörende Insekten in Bauwerken und an Kulturgut – Insekten-Monitoring in Mecklenburg-Vorpommern. In: Der Bausachverständige 1/2006, S. 26–29 2006 a
- HAUSTEIN, T., VON LAAR, C.: Neue Methoden zur Diagnose Holz zerstörender Insekten. In: Rostocker Berichte aus dem Institut für Bauingenieurwesen. Rostock: Universität Rostock, Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät 16/2006, S. 85–99 2006 b
- HAUSTEIN, T., VON LAAR, C., NOLDT, U.: Situation des Holzschädlingbefalls in historischen Gebäuden Mecklenburgs – Insektenmonitoring. In: NOLDT, U., MICHELS, H. (Hrsg.) Proceedings Internationale Tagung im LWL-Freilichtmuseum Detmold / Westfälisches Landesmuseum für Volkskunde, Holzschädlinge im Fokus – Alternative Maßnahmen zur Erhaltung historischer Gebäude, 28.–30. Juni 2006, erschienen 2007, S. 73–81 2007 a

-
- HAUSTEIN, T., VON LAAR, C., NOLDT, U.: Diagnose Holz zerstörender Insekten und ihrer natürlichen Feinde in historischen Gebäuden Mecklenburgs. In: WTA-Almanach 2007 Bauinstandsetzen und Bauphysik. München: WTA-Publications, 2007, S. 579–606 2007 b
- HAUSTEIN, T., VON LAAR, C., HASENSTAB, A., OSTERLOH, K.: Apparative Verfahren zur Diagnose von Schäden durch Holz zerstörende Insekten an Holzbauteilen. In: Proceedings 18. Hanseatische Sanierungstage, 8.–10. November 2007 im Ostseebad Heringsdorf / Usedom, Forum Altbausanierung – Feuchteschutz. Berlin: Beuth-Verlag GmbH, 2007, S. 33–46 2007 c
- HAUSTEIN, T., VON LAAR, C.: Vorkommen von synanthropen Buntkäfern (Coleoptera, Cleridae) in Mecklenburg-Vorpommern. In: Entomologische Nachrichten und Berichte 51, 3–4/2007 (erschienen 2008), S. 225–229
- HÄTTRICH, R.: Bohrwiderstandsmessungen zur Ermittlung der Geometrie von Holzverbindungen. Sonderdruck Erhalten historisch bedeutsamer Bauwerke, Sonderforschungsbereich 315 der Universität Karlsruhe 1989, S. 216–217
- HEIDGER, C. M.: Die Ökologie und Bionomie der Borkenkäfer-Antagonisten *Thanasimus formicarius* L. (Cleridae) und *Scoloposcelis pulchella* Zett. (Anthocoridae). Dissertation an der Philipps-Universität Marburg, 1994
- HELLRIGL, K., SCHWENKE, W.: Begleitinsekten in Buchdrucker-Pheromonfallen in Südtirol. In: Anzeiger für Schädlingskunde, Pflanzenschutz, Umweltschutz 58/1985, S. 47–50
- HICKIN, N. E.: The Insect Factor in Wood Decay. An Account of Wood-boring Insects with Particular Reference to Timber Indoors. London: Hutchinson & Co. LTD, 1963, 336 S.
- HICKIN, N. E.: The Woodworm. In: Science Journal 3/1969, S. 64–70
- HICKIN, N. E.: The Woodworm Problem. The Rentokill Library, London: Hutchinson & Co. LTD, Second edition 1972, 123 S.
- HORION, AD.: Faunistik der Mitteleuropäischen Käfer, Band III Malacodermata, Steroxia (Elateridae bis Throscidae). Sonderband, München: Eigenverlag, 1953, 340 S.
- KELSEY, J. M., SPILLER, D., WINSOME, D. R.: Biology of *Anobium punctatum*. New Zealand journal of science and technology, Band 27/1945, S. 59–68
- KEMNER, N. A.: De Ekonomiskt viktiga vedgnagande anobierna. In: Meddelande fran Centralanstalten för försöksväsendet på jordbruksomradet. In: Entomogogiska avdelningen 108/1915, S. 1–45
- KENAGA, E. E.: Some biological, chemical and physical properties of sulfuryl fluoride as an insecticidal fumigant. In: Journal of Economic Entomology 50/1957, S. 1–6
- KIMMINS, D. E.: Notes on the life-history of the deathwatch beetle. Proceedings of the South London Entomological Natural History Society, 1933, S. 133–137
- KLAUSNITZER, B.: Die Larven der Käfer Mitteleuropas. 3. Band, Polyphaga, Teil 2. Krefeld: Goecke & Evers im Gustav Fischer Verlag, Jena Stuttgart, 1996, 336 S.
- KLAUSNITZER, B.: Coleoptera-Käfer. In: STRESEMANN, E., HANNEMANN, H. J., KLAUSNITZER, B., SENGLAUB, K. (Hrsg.): Exkursionsfauna von Deutschland, Band 2, 10. durchgesehene Auflage, Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag, 2005, S. 314–552
- KÖHLER, F., KLAUSNITZER, B.: Entomofauna Germanica. Verzeichnis der Käfer Deutschlands. In: Entomologische Nachrichten und Berichte (Dresden) Beiheft 4(3) 1998, S. 1–185
- KOLIBÁČ, J.: Further Observations on Morphology of some Cleridae (Coleoptera) I. Přírodovědné práce ustavů Československé akademie věd v Brně. 23 (1) 1989, S. 1–50

- KOLIBÁČ, J.: Further Observations on Morphology of some Cleridae (Coleoptera) II. Přírodovědné práce ustavů Československé akademie věd v Brně. 23 (2) 1989, S. 1–39
- KOLIBÁČ, J.: Species of the genera *Thanasimus* Latreille and *Korynetes* Herbst in central Europe (Coleoptera, Cleridae). In: Acta Entomol. Bohemoslov. 89/1992, S. 309–314
- KOWALCZYK, J. K.; WATAŁA, C.: Interesujące chrząszcze (Insecta, Coleoptera) na Wyżynie Łódzkiej – Interesting beetles (Insecta, Coleoptera) in Lodz Upland. In: Przegląd Zoologiczny 32 (4) 1988, S. 543–546
- KRAUSE, M.: Ultraschallechoverfahren an Betonbauteilen. In: CZIESIELSKI, E. (Hrsg.): Bauphysik Kalender 2004, Berlin: Ernst & Sohn, 2004, S. 341–352
- KRIEG, A., FRANZ, J. M.: Lehrbuch der biologischen Schädlingsbekämpfung. Berlin: Verlag Paul Parey, 1989, 302 S.
- LINDROTH, C. H. (Hrsg.) Catalogus Coleopterorum Fennoscandiae et Daniae. –Entomologiska sällskapet i Lund. 1960, 476 S.
- LOHSE, G. A.: Familie: Anobiidae. In FREUDE, H., HARDE, K. W., LOHSE, G.: Die Käfer Mitteleuropas, Band 8, Krefeld: Goecke & Evers, 1969, S. 27–49
- LYNGNENS, R.: Zur Kenntnis der Biologie von *Spathius exarator* L.(Hym., Bracon.). In: Zeitschrift für angewandte Entomologie 38/1956, S. 73–81
- MACDONALD, O., REICHMUTH, C.: Effects on Target Organisms. In: BELL, C. H., PRICE, N., CHAKRABARTI, B. (Hrsg.): The Methyl Bromide Issue. 1996, S. 150–189
- MAMAEV, B. M.: The larvae of Clerid-beetles (Coleoptera, Cleridae) attacking forest-pests and xylophagous insects. In: Entomologicheskoe Obozrenie 56 (2) 1997, S. 395–408
- MAULDIN, J. K.: A Review of the most important termites and wood-destroying Beetles in the United States. In: LLEWELLYN, G. C. (Hrsg.): Proceedings of the 6th International Bio-deterioration Symposium, Washington DC, August 1984, S. 667–671
- MAXWELL-LEFROY, H. M.: The treatment of the deathwatch beetle in timber roofs. In: Journal of the Royal Society Arts 72(3720) 7. 3.1924, S. 260–270
- MEIKLE, R. W., STEWARD, D., GLOBUS, O. A.: Drywood Termite Metabolism of Vikane Fumigant as Shown by Labeled Pool Technique. In: Agricultural and Food Chemistry 11/1963, S. 226–230
- MICHELS, H., NOLDT, U.: Entwicklung und Optimierung umweltverträglicher Verfahren zu Monitoring, Prävention und Bekämpfung von Schädlingen in historischen Baukonstruktionen aus Holz – Abschlussbericht zum Förderprojekt. DBU Az: 20232, Referat 45, 2007, 35 S.
- MILLER, M. C.: Development of a specific anti-adult Southern Pine Beetle serum. In: Serology in predator prey studies. Miscellaneous Publications of the Entomological Society of America 11(4) 1979, S. 35–53
- MILLS, N. J.: Some observations on the role of predation in the natural regulation of *Ips typographus* populations. In: Zeitschrift für angewandte Entomologie 99/1985, S. 209–215
- MOLL, E., GRÖGER, J., LIESEBACH, M., RUDOLPH, P. E., STAUBER, T., ZILLER, M. (Hrsg.): Einführung in die Biometrie. Senat der Bundesforschungsanstalten des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Berlin und Braunschweig, 2004, Hefte 1–4
- NEBEKER, T. E., PURSER, G., MIZELL, R. F.: Collection and maintenance of *Thanasimus dubius* (F.) for biological and behavioural studies. In: Journal of the Georgia Entomological Society 15 (4) 1980, S. 406–412

-
- NOLDT, U., FETTKÖTHER, R., DETTNER, K.: Structure of the sex pheromone-producing prothoracic glands of the male old house borer, *Hylotrupes bajulus* (L.) (Coleoptera: Cerambycidae). In: International Journal Insect Morphology Embryology 24/1995, S. 223–234
- NOLDT, U., MICHELS, H., SCHÖNHOF, T.: Befall durch den Bunten Nagekäfer (*Xestobium rufovillosum* (Geer)) im Westfälischen Freilichtmuseum Detmold. Jahresbericht der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, Hamburg, 2000, S. 54
- NOLDT, U., SCHÖNHOF, T., MICHELS, H.: Beispiele und Anforderungen zum Monitoring von Schadinsekten. In: Vortragsband der 23. Holzschutz-Tagung der DGfH am 26. und 27. März 2003 in Augsburg, München: Deutsche Gesellschaft für Holzforschung, 2003, S. 71–81
- NOLDT, U.: Holzerstörende Insekten – Befallsmerkmale, Monitoring, Langzeituntersuchungen und Begleitung von Bekämpfungsmaßnahmen in historischen Gebäuden. In: Forschungsreport 2/2006, S. 33–37
- NOLDT, U.: Monitoring von Holz zerstörenden Insekten – Anforderungen und erste Ergebnisse. In: NOLDT, U., MICHELS, H. (Hrsg.): Holzschädlinge im Fokus Alternative Maßnahmen zur Erhaltung historischer Gebäude. Beiträge der internationalen Tagung im LWL-Freilichtmuseum Detmold, 28.–30. Juni 2006, erschienen 2007, S. 41–57
- ØAKLAND, B.: A comparison of three methods of trapping saproxylic beetles. In: European Journal of Entomology 93/1996, S. 195–209
- OSBRINK, W. L. A., SCHEFFRAHN, R. H., SU, N. Y., RUST, M. K.: Laboratory Comparisons of Sulphuryl Fluoride Toxicity and mean time of mortality among ten termite species (Isoptera: Hodotermitidae, Kalotermitidae, Rhinotermitidae). In: Journal of Economic Entomology 80(5) 1987, S. 1044–1047
- OSTERLOH, K., ZSCHERPEL, U., EWERT, U., WEISS, P.: Einsatzmöglichkeiten mobiler Röntgenblitzröhren. DGZfP-Jahrestagung 2003 Mainz 26.–28. Mai 2003, Berichtsband auf CD
- OSTERLOH, K., HASENSTAB, A., ZSCHERPEL, U., GOEBBELS, J., EWERT, U.: Non-destructive Testing of wood by Radiography. Proceedings Matest 2005, Croatian Society of Non-Destructive Testing, S. 108–119
- OUTRAM, I.: Factors affecting the resistance of insect eggs to sulphuryl fluoride – I: The uptake of sulphuryl-³⁵S fluoride by insect eggs. In: Journal of Stored Products Research 3/1967, S. 255–260 1967 a
- OUTRAM, I.: Factors affecting the resistance of insect eggs to sulphuryl fluoride – II: The distribution of sulphuryl-³⁵S fluoride in insect eggs after fumigation. In: Journal of Stored Products Research 3/1967, S. 353–358 1967 b
- PAUL, F., PROZELL, S., SCHÖLLER, M.: Monitoring natürlicher Feinde des Gemeinen Nagekäfers *Anobium punctatum* (L., 1758) (Coleoptera: Anobiidae). In: Berichte des Naturwissenschaftlich-Medizinischen Vereins Innsbruck, Entomologentagung 26.2.–1.3.2007, Innsbruck, S. 177
- PETERS, G.: Die hochwirksamen Gase und Dämpfe in der Schädlingsbekämpfung. 1. Einführung und Allgemeiner Teil. In: Sammlung chemischer und chemisch-technischer Vorträge 47a/1942, 143 S.
- PETERS, B. C., FITZGERALD, C. J.: Anobiid pests of timber in Queensland: a literature review. In: Australian Forestry, The Journal of the Institute of Foresters of Australia Vol. 59(3) 1996, S. 130–135

- PINNIGER, D. B., CHILD, R. E.: Woodworm – a Necessary Case for Treatment? New Techniques for the Detection and Control of Furniture Beetle. WILDEY, K.B. (Hrsg.): Proceedings 2nd International Conference on Insect Pests in the Urban Environment, 7–10 Juli 1996, Edinburgh, Schottland, S. 353–359
- PINNIGER, D.: New pests for old: the changing status of museum insect pests in the UK. In: KINGSLEY, H., PINNINGER, D., XAVIER-ROWE, A., WINSOR, P. (Hrsg.): Integrated Pest Management for Collections. Proceedings of 2001: A Pest Odyssey – a joint conference of English Heritage, the Science Museum and the National Preservation Office 1.–3. Okt. 2001, London: James & James, 2001, S. 9–13
- PINNIGER, D.: Pest Management in Museums, Archives and Historic Houses. London: Archetype Publications 2001, 115 S.
- PLARRE, R.: Pheromones and other Semiochemicals of Stored Product Insects – A historical review, current application, and perspective needs. In: REICHMUTH, C. (Hrsg.): 100 Jahre Pflanzenschutzforschung. Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft Berlin-Dahlem Heft 342/1998, S. 13–83
- POSPISCHIL, R.: Buntkäfer Teil I und II. In: Der praktische Schädlingsbekämpfer 1/2000, S. 4–6 und 2/2000, S. 4–6
- PRESS, J. W., CLINE, L. D., FLAHERTY, B. R.: A comparison of two parasitoids, *Bracon hebetor* (Hymenoptera: Braconidae) and *Venturia canescens* (Hymenoptera: Ichneumonidae), and a predator *Xylocoris flavipes* (Hemiptera: Anthocoridae) in suppressing residual populations of the almond moth, *Ephesia cautella* (Lepidoptera: Pyralidae). In: Journal of the Kansas Entomological Society 55/1982, S. 725–728
- PUPPIN, O.: Observations on Penichora-Fasciata Coleoptera Cerambycidae. In: Bollettino di zoologia agraria e di bachicoltura (Torino) 11/1973, S. 83–87
- RATZEBURG, J. T. C.: Die Ichneumoniden der Forstinsekten in forstlicher und entomologischer Beziehung; ein Anhang zur Abbildung und Beschreibung der Forstinsekten. Zweiter Band, Berlin: In der Nicolai'schen Buchhandlung, 1848, 224 S., 4 Tafeln
- REDDY, G. V. P., FETTKÖTHER, R., NOLDT, U., DETTNER, K.: Capture of female *Hylotrupes bajulus* as influenced by trap type and pheromone blend. In: Journal of Chemical Ecology 31(9) 2005, S. 2169–2177 (2005 a)
- REDDY, G. V. P., FETTKÖTHER, R., NOLDT, U., DETTNER, K.: Enhancement of attraction and trap catches of the old-house borer, *Hylotrupes bajulus* (Coleoptera: Cerambycidae), by combination of male sex pheromone and monoterpenes. In: Pest Management Science 61/2005, S. 699–704 (2005 b)
- REICHMUTH, C., SCHNEIDER, B., DRINKALL, M. J.: Sulfuryl fluoride (Vikane ®) against eggs of different age of the Indian meal moth *Plodia interpunctella* (Hübner) and the Mediterranean flour moth *Ephesia kuehniella* Zeller. In: ZUXUN, J., QUAN, L., YONGSHENG, L., XIANCHANG, T., LIANGHUA, G. (Hrsg.): Proceedings of the 7th International Working Conference on Stored-product Protection, 14.–19. Okt. 1998, Peking, China, S. 416–422

-
- REICHMUTH, C., RASSMANN, W., BINKER, G., FRÖBA, G., DRINKALL, M. J.: Disinfestation of rust-red flour beetle (*Tribolium castaneum*), saw-toothed grain beetle (*Oryzaephilus surinamensis*), yellow meal worm (*Tenebrio molitor*), Mediterranean flour moth (*Ephestia kuehniella*) and Indian meal moth (*Plodia interpunctella*) with sulfuryl fluoride in flour mills. In: CREDLAND P. F., ARMITAGE, D. M., BELL, C. H., COGAN P. M., HIGHLEY, E. (Hrsg.): Proceedings of the 8th International Working Conference on Stored Product Protection, 22.–26. Juli 2002, York, GB, erschienen 2003, S. 736–738
- REICHMUTH, C.: Fumigants for Pest Control in Wood Protection. In: NOLDT, U., MICHELS, H. (Hrsg.): Holzschädlinge im Fokus Alternative Maßnahmen zur Erhaltung historischer Gebäude. Beiträge der internationalen Tagung im LWL-Freilichtmuseum Detmold, 28.–30. Juni 2006, erschienen 2007, S. 137–162
- REICHMUTH, C., KLEMENTZ, D.: How to overcome the egg-weakness of sulfuryl fluoride – combinations of control methods. In: Proceedings Annual International Research Conference on Methyl Bromide Alternatives and Emissions Reductions, 10.–14.11.2008, San Diego, Kalifornien, USA, S. 88–1 bis 88–4 (2008 a)
- REICHMUTH, C., KLEMENTZ, D.: Schädlingbekämpfung im Vorrats- und Materialschutz mit Sulfurylfluorid. In: Mitteilungen der Deutschen Gesellschaft für allgemein angewandte Entomologie 16/2008, S. 309–312 (2008 b)
- REITELBACH, T.: Die Antagonisten des Buchdruckers (*Ips typographus* L.) im Nationalpark Berchtesgaden unter besonderer Berücksichtigung des Ameisenbunkkäfers (*Thanasimus* sp.). Forschungsbericht 47/2002 Nationalpark Berchtesgaden, 239 S.
- RIDOUT, B.: Timber decay in buildings. London: Spon Press, 2000, 232 S.
- RIDOUT, B.: Deathwatch beetle and its treatment. In: RIDOUT, B. (Hrsg.): Timber. The EC Wood-care Project: Studies of the behaviour, interrelationships and management of deathwatch beetles in historic buildings. English Heritage Research Transactions 4(7) 2001, S. 3–5 (2001 a)
- RIDOUT, B.: Understanding and controlling anobiid beetles with special reference to the deathwatch beetle *Xestobium rufovillosum*. In: KINGSLEY, H., PINNINGER, D., XAVIER-ROWE, A., WINSOR, P. (Hrsg.): Integrated Pest Management for Collections. Proceedings of 2001: A Pest Odyssey – a joint conference of English Heritage, the Science Museum and the National Preservation Office, 1.–3. Okt. 2001, London: James & James, 2001, S. 14–20 (2001 b)
- RINN, F., BECKER, B., KROMER, B.: Ein neues Verfahren zur direkten Messung der Holzdicke bei Laub- und Nadelhölzern. In: Dendrochologia 7/1990, S. 159–168
- RINN, F.: Ergebnisse aus drei Jahren Anwendung der Bohrwiderstandsmethode zur direkten Messung der Holzdicke für den Bereich der Baumuntersuchung. Vortrag auf dem Führungskräfte-seminar 1990, Fachtagung „Der Baum“, Heidelberg, 8. Mai 1990
- RINN, F.: Chancen und Grenzen bei der Untersuchung von Konstruktionshölzern mit der Bohrwiderstandsmethode. Sonderdruck aus: Bauen mit Holz aus Heft 9/1991
- RINN, F.: Gucken, klopfen, bohren, Zerstörungsfreie Bohrwiderstandsmessung als Teil der ingenieurtechnischen Holzuntersuchung. In: Bausubstanz 5/1993, S. 49–52
- RINN, F.: One minute pole inspection with Resistograph micro drillings. In: International Conference on Wood Poles and Piles, 21.–23. März 1994, Fort Collins, Colorado, USA (1994 a)

- RINN, F.: Typische Resistograph-Bohrwiderstandsprofile stehender Bäume und ihre Erklärung. Skript zum Vortrag auf den Godesberger Gehölztagen, März 1994 (1994 b)
- RINN, F.: Baum- und Bauholz-Inspektionen mit Resistograph. Proceedings First European Symposium on Nondestructive Evaluation of Wood, Vol. 1, 21.-23. Sept. 1994, University of Sopron, Ungarn, S: 95-104 (1994 c)
- SCHNEIDER, B. M.: Characteristics and global potential of the insecticidal fumigant, Sulfuryl fluoride. In: WILDEY, K. B., ROBINSON, W. H. (Hrsg.): Proceedings of the first International Conference on Insect Pests in Urban Environment, 30.Juni – 3.Juli 1993, St. John`s College, Cambridge, GB, BPCC Wheatons Ltd, Exeter, GB, 1993, S. 193-198
- SCHÖLLER, M.: Biologische Bekämpfung vorratsschädlicher Arthropoden mit Räubern und Parasitoiden – Sammelbericht und Bibliographie. In: REICHMUTH, C. (Hrsg.): 100 Jahre Pflanzenschutzforschung. Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft Berlin-Dahlem Heft 342/1998, S. 85-189
- SCHRÖDER, F., FETTKÖTHER, R., NOLDT, U., DETTNER, K., KÖNIG, W. A., FRANCKE, W.: Synthesis of (3R)-3-hydroxy-2-hexanone, (2R, 3R)-2, 3-hexanediol and (2S, 3R)-2, 3-hexanediol, the male sex pheromone of *Hylotrupes bajulus* and *Pyrrhidium sanguineum* (Cerambycidae). In: Liebig's Annalen der Chemie 12/1994, S. 1211-1218
- SCHWEINGRUBER, F. H.: Der Jahrring: Standort, Methodik, Zeit und Klima in der Dendrochronologie. Bern, Stuttgart: Verlag Paul Haupt, 1983, 234 Seiten
- SELLENSCHLO, U.: Untersuchung des Beifanges von Pheromonfallen im Forst. In: Neue Entomologische Nachrichten 19(1/2) 1986, S. 39-42
- SERDYUKOVA, I. R.: Water vapor Absorption in Anobiidae Larve Coleoptera. In: Zoologicheskii Zhurnal 68(11) 1989, S. 65-70
- SHAW, M. R., HUDDLESTON, T.: Classification and biology of braconid wasps (Hymenoptera: Braconidae). In: Handbooks for the Identification of British Insects 7(11) 1991, 126 S.
- SHENEFELT, R. D., MARSH, P. M.: Braconidae 9. Doryctinae. Hymenopterorum Catalogus (nova editio) 13, 1976, S. 1263-1424
- SIMMONDS, M. J., BELMAIN, S. R., BLANEY, W. M.: Integrated pest management for the control of deathwatch beetles: Trapping. In: RIDOUT, B. (Hrsg.): Timber. The EC Woodcare Project: Studies of the behaviour, interrelationships and management of deathwatch beetles in historic buildings. English Heritage Research Transactions 4(7) 2001, S. 40-50
- STEIDLE, J. L. M., SCHÖLLER, M.: Olfactory Host Location and Learning in the Granary Weevil Parasitoid *Lariophagus distinguendus* (Hymenoptera: Pteromalidae). In: Journal of Insect Behavior 10(3) 1997, S. 331-342
- STEIDLE, J. L. M., RUTHER, J.: Chemicals used for host recognition by the granary weevil parasitoid *Lariophagus distinguendus*. In: Journal of Chemical Ecology 26(12) 2000, S. 2665-2675
- STEIDLE, J. L. M., GANTERT, C., NOLDT, U., PROZELL, S., SCHÖLLER, M.: Bekämpfung von Holz zerstörenden Käfern durch Massenfreilassungen der Lagererzwespe: Fiktion und Fakten. In: NOLDT, U., MICHELS, H. (Hrsg.): Holzschädlinge im Fokus Alternative Maßnahmen zur Erhaltung historischer Gebäude. Beiträge der internationalen Tagung im LWL-Freilichtmuseum Detmold, 28.-30. Juni 2006, erschienen 2007, S. 163-172
- STEINER, P.: Hausbockuntersuchungen (2. Mitteilung) Über einen wirksamen Feind des Hausbocks, den Hausbuntkäfer *Opilo domesticus* L.. In: Zeitschrift für angewandte Entomologie 25(1) 1938, S.81-91

-
- STEWART, D.: Sulfuryl fluoride – A new fumigant for control of the drywood termite *Kalotermes minor* Hagen. In: Journal of Economic Entomology 50/1957, S. 7–11
- SU N. Y., SCHEFFRAHN, R. H.: Efficacy of sulfuryl fluoride against four beetle pests of museums (Coleoptera: Dermestidae, Anobiidae). In: Journal of Economic Entomology 83/1990, S. 879–882
- THALENHORST, W.: Grundzüge der Populationsdynamik des großen Fichtenborkenkäfers *Ips typographus* L.. In: Schriftenreihe der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen 21/1958, S. 1–126
- THOMS, E. M., SCHEFFRAHN, R. H.: Control of pests by fumigation with Vikane gas fumigant (Sulfuryl fluoride). In: Down to Earth 49/1994, S. 23–29
- TOSKINA, I. N.: Ecology of early developmental stages of some Anobiidae. In: Zoological Journal, Moskow 45(11) 1966, S. 1644–1649
- TOWNSED, C. R., HARPER, J. L., BEGON, M. E.: Ökologie. Berlin: Springer Verlag 2003, 647 S.
- TRÄGARDH, J.: Survey of the wood destroying insects in public buildings in Sweden. In: Bulletin of entomological research 29/1938, S. 57–62
- UNGER, A., SCHNIEWIND, A. P., UNGER, W.: Conservation of Wood Artifacts. Berlin: Springer-Verlag 2001, 578 S.
- VITÉ, J. P.: Die holzerstörenden Insekten Mitteleuropas. Textband. Göttingen: Musterschmidt, Wissenschaftlicher Verlag, 1952, 155 S.
- VON LAAR, C.: Zustandsuntersuchungen an archäologischen Nasshölzern mit der Bohrwiderstandsmethode. Beiträge zur Erhaltung von Kunst- und Kulturgut, Verband der Restauratoren, 2003, S. 85–93
- VON LAAR, C.: Wie sicher lassen sich Holzschäden über Bohrwiderstandsmessungen ermitteln? Proceedings 17. Hanseatische Sanierungstage Messen und Sanieren, Kühlungsborn 2006, S.7–23
- WEIDNER, H., SELLENSCHLO, U.: Vorratsschädlinge und Hausungeziefer. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag, 2003, 320 S.
- WHITE, R. E.: A Catalog of the Coleoptera of America North of Mexico – Family: Anobiidae. USDA United States Department of Agriculture, Agriculture Research Service Handbook 1982 (529–79), DocID AH52970, 58 S.
- WHITE, P. R., BIRCH, M. C.: Female sex pheromone of the common furniture beetle *Anobium punctatum* (Coleoptera: Anobiidae): Extraction, Identification and Bioassays. In: Journal of Chemical Ecology 13(7) 1987, S. 1695–1706
- WHITE, P. R., BIRCH, M. C., CHURCH, S., JAY, C., ROWE, E., KEENLYSIDE, J. J.: Intraspecific Variability in the Tapping Behaviour of the Deathwatch Beetle, *Xestobium rufovillosum* (Coleoptera: Anobiidae). In: Journal of Insect Behavior 6(5) 1993, S. 549–562
- WILLIAMS, L. H., SPRENKEL, R. J.: Ovicidal Activity of Sulfuryl Fluoride to Anobiid and Lyctid Beetles Eggs of Various Ages. In: Journal of Entomological Science 25(3) 1990, S. 366–375
- WINKLER, J. R.: Die Buntkäfer. In: Die neue Brehm-Bücherei 660/1961, 108 S.
- ZACHARIASSEN, K. E.: Maurbillen *Opilo domesticus* Sturm (Col., Cleridae) funnet i Norge (The clerid beetle *Opilo domesticus* Sturm (Coleoptera, Cleridae) found in Norway. In: Fauna Norvegica, Norsk Zoologisk Tidsskriftsentral (Norwegian journal of entomology) Oslo 39(2) 1992, S. 91–92

- ZIEGLER, R.: Biochemie und Stoffwechsel. In: DETTNER, K., PETERS, W. (Hrsg.): Lehrbuch der Entomologie, München: Elsevier GmbH, 2003, S. 75v89
- ZISSLER, D.: Fortpflanzung und Entwicklung. In: DETTNER, K., PETERS, W. (Hrsg.): Lehrbuch der Entomologie, München: Elsevier GmbH, 2003, S.357-420

Normen, Merkblätter, Richtlinien und Verordnungen

- Amtsblatt der Europäischen Union: Verordnung (EG) Nr. 2037/2000 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 29. Juni 2000 über Stoffe, die zum Abbau der Ozonschicht führen, 2000
- Amtsblatt der Europäischen Union: Richtlinie 2006/140/EG der Kommission vom 20. Januar 2006 zur Änderung der Richtlinie 98/8/EG des Europäischen Parlaments und des Rates zwecks Aufnahme des Wirkstoffes Sulfurylfluorid in Anhang I, 2006
- Norm DIN EN 49-1: Juni 2005. Holzschutzmittel – Bestimmung der vorbeugenden Wirkung gegenüber *Anobium punctatum* (De Geer) durch Beobachten der Eiablage und des Überlebens von Larven – Teil 1: Oberflächenbehandlung (Laboratoriumsverfahren); Deutsche Fassung EN 49-1: 2005
- Norm DIN EN 370: Mai 1993. Holzschutzmittel – Bestimmung der auf Schlupfverhinderung beruhenden bekämpfenden Wirksamkeit gegenüber *Anobium punctatum* (De Geer); Deutsche Fassung EN 370: 1993
- Norm DIN EN 13183-1: Juli 2002. Feuchtegehalt eines Stückes Schnittholz – Teil 1: Bestimmung durch Darrverfahren; Deutsche Fassung EN 13183-1: 2002
- Merkblatt der Deutsche Gesellschaft für Holzforschung (DGfH): Die Bekämpfung von Holz zerstörenden Insekten – Merkblatt über Notwendigkeit, Durchführung und Einschränkungen einer Behandlung mit Gasen, 2002
- Sulfurylfluorid Technische Information. Dow AgroSciences GmbH, München. Juni 2002, 12 Seiten

Verzeichnis der Abkürzungen

D:	Deutschland
GB:	Großbritannien
RUS:	Russland
USA:	Vereinigte Staaten von Amerika
IN:	Indiana
L:	Länge
B:	Breite
H:	Höhe
A:	Fläche
V:	Volumen
n:	Stichprobenumfang
w:	Spannweite (Variationsbreite)
SAS®:	Statistic Analysis System
χ^2 :	Teststatistik mit Chi-Quadrat-Verteilung
H_0 :	Nullhypothese
H_A :	Alternativhypothese
r:	Parameter für den linearen Zusammenhang zweier Zufallsvariablen (Korrelation)
a:	Signifikanzniveau
p:	Überschreitungswahrscheinlichkeit
r:	Korrelationskoeffizient
r_s :	SPEARMANScher Rangkorrelationskoeffizient
StAbw:	Standardabweichung
f:	Frequenz
A-Bild:	Intensität über die Laufzeit bei Ultraschalltechnik
B-Bild:	Laufzeit über den Messweg bei Ultraschalltechnik
SF:	Sulfuryldifluorid (Sulfurylfluorid)
Col.:	Coleoptera (Käfer)
Hym.:	Hymenoptera (Hautflügler)
sp. o. spec.:	Spezies (Art)

Verzeichnis der Abbildungen

- Abbildung 1:** Untersuchungsgebiet mit markierten Standorten im Bundesland Mecklenburg-Vorpommern (Topografische Karte aus Top 50 Version 4, Landesvermessungsamt Mecklenburg-Vorpommern) 24
- Abbildung 2:** Prüfklotze zur Aufnahme der Versuchstiere während der Begasung, links Skizze eines Prüfklotzes (160 x 160 x 230 mm) aus zwei Hälften zusammengesetzt, rechts als Prüfklotzserie mit aufgeklappten Hälften und eingesetzten Versuchstierbehältern in den inneren Aussparungen 32
- Abbildung 3:** Aktivitätszahlen der Zielarten *A. punctatum*, *X. rufovillosum*, Cleridae spec. und parasitoider Wespen auf der Grundlage der Ausschluflöcher (n = 2.032) an allen Papierabklebungen (n = 257, Abklebungsfläche A = 40,99 m²) in 26 Gebäuden von März bis August 2005 40
- Abbildung 4:** Aktivitätszahlen der Zielarten *A. punctatum*, *X. rufovillosum*, Cleridae spec. und parasitoider Wespen auf der Grundlage der Ausschluflöcher (n = 2.821) an allen Papierabklebungen (n = 302, Abklebungsfläche A = 47,51 m²) in 25 Gebäuden von März bis August 2006 40
- Abbildung 5:** Schlupfloch von *Anobium punctatum* im Papier bei 30facher Vergrößerung, Durchmesser: 1,08 mm 44
- Abbildung 6:** Schlupfloch von *Xestobium rufovillosum* im Papier bei 30facher Vergrößerung, Durchmesser: 2,58 mm 44
- Abbildung 7:** Schlupfloch von *Ptilinus pectinicornis* im Papier bei 30facher Vergrößerung, Durchmesser: 1,08 mm 45
- Abbildung 8:** Schlupfloch von *Korynetes caeruleus* im Papier bei 30facher Vergrößerung, Durchmesser: 1,93 mm 45
- Abbildung 9:** Schlupfloch von *Opilo mollis* im Papier bei 30facher Vergrößerung, Länge: 3,10 mm, Breite: 2,24 mm 45
- Abbildung 10:** Schlupfloch von *Tillus elongatus* im Papier bei 30fach Vergrößerung, Durchmesser: 1,47 mm 46
- Abbildung 11:** Schlupfloch der Brackwespe *Hecabolus sulcatus* im Papier bei 30facher Vergrößerung, Durchmesser: 0,47 mm 46
- Abbildung 12:** Fraßlöcher von Buntkäferlarven bei jeweils 30facher Vergrößerung. links: *Korynetes caeruleus*, Durchmesser: 0,79 mm; Mitte: *Opilo domesticus*, Durchmesser: 0,7 mm; rechts: *Tillus elongatus*, Durchmesser: 0,39 mm 46
- Abbildung 13:** Vergleich der in den Gebäuden mit Klebefallen gefangenen Arthropoden, in 2005 ohne Schutzmaßnahmen und in 2006 mit Schutzmaßnahmen (Maschendraht- oder Folienumhüllung) an den Fallen 48
- Abbildung 14:** Anzahl geschlüpfter adulter *Tillus elongatus* aus Rotbuchenholz bezogen auf 1 dm³ Holzprobe im Dreijahreszeitraum 2006 bis 2008, 0. Tag: 11. April 2006, 2007, 2008 54
- Abbildung 15:** Anzahl geschlüpfter adulter *Tillus elongatus* und *Ptilinus pectinicornis* aus Rotbuchenholz bezogen auf 1 dm³ Holzproben in 2008, 0. Tag: 11. April 2008 55

Abbildung 16: Schlupf adulter <i>Xestobium rufovillosum</i> und <i>Opilo mollis</i> in Abhängigkeit von der Lufttemperatur, nachgewiesen mit Papierabklebungen von 15. März bis 20. Juli 2006 im Untersuchungsgebäude 8 (Xr = <i>X. rufovillosum</i> , Om = <i>O. mollis</i>)	59
Abbildung 17: Entwicklung von Buntkäferlarven der Arten <i>Korynetes caeruleus</i> , <i>Opilo domesticus</i> und <i>Opilo mollis</i> bei reichlichem Futterangebot	60
Abbildung 18: Entwicklung von Buntkäferlarven der Arten <i>Opilo mollis</i> und <i>Tillus elongatus</i> bei reichlichem Futterangebot	61
Abbildung 19: Entwicklung von Buntkäferlarven der Art <i>Korynetes caeruleus</i> bei reichlichem Futterangebot	61
Abbildung 20: Mittelwerte des Beutekonsums von 31 Buntkäferlarven aller Spezies (n = 4) bei reichlicher Fütterung mit Tabakkäferlarven im Zeitraum 14. Juli 2006 (Tag 0) bis zum 4. September 2008 (Tag 783)	63
Abbildung 21: Kumulative Mortalität in Gruppen gehaltener <i>Korynetes caeruleus</i> aus der Freilandentnahme bei Fütterung mit Larven von <i>Lasioderma serricorne</i> bzw. <i>Stegobium paniceum</i> und einer Haltungstemperatur von 17 °C und 70% r.F.	65
Abbildung 22: Kumulative Mortalität verpaarter <i>Korynetes caeruleus</i> aus der Freilandentnahme ohne Futterzugabe (Hungertiere) bei 17 °C, 23 °C und 28 °C Haltungstemperatur	66
Abbildung 23: Weicher Buntkäfer (oberes Tier) beim Ausfressen eines Gescheckten Nagekäfers, die Beute wird fest mit den Vorder- und Mittelbeinen gehalten	68
Abbildung 24: Fraßgänge von <i>Anobium punctatum</i> in Kiefer, dargestellt im Holzkörper mit eingezeichneten Bohrwiderstandsprofil (links) und als Bildanalyseprofil (rechts); im Bohrwiderstandsprofil sind die Fraßgänge im Frühholz (Pfeil) nicht deutlich wieder zu finden und unterscheiden sich kaum vom ungeschädigten Holz	75
Abbildung 25: Fraßgänge von <i>Anobium punctatum</i> in Kiefer, dargestellt im Holzkörper mit eingezeichneten Bohrwiderstandsprofil (links) und als Bildanalyseprofil (rechts); Engjährringigkeit (Pfeil) verhindert die sichere Erkennung der Insektenfraßgänge	75
Abbildung 26: Fraßgänge von <i>Anobium punctatum</i> in Fichte, dargestellt im Holzkörper mit eingezeichneten Bohrwiderstandsprofil (links) und als Bildanalyseprofil (rechts); starker Larvenfraß (Pfeil) führt zu einem deutlichen Abfall im Bohrwiderstandsprofil	75
Abbildung 27: Fraßgänge von <i>Anobium punctatum</i> , von Frischholzinsekten und zusätzlichem Pilzbefall in Kiefer, dargestellt im Holzkörper mit eingezeichneten Bohrwiderstandsprofil (links) und als Bildanalyseprofil (rechts); der Pilzbefall und die größeren Fraßgänge von Frischholzinsekten (Pfeil) überdecken die Schäden durch die Nagekäferart	76
Abbildung 28: Fraßgänge von <i>Xestobium rufovillosum</i> in Eiche, dargestellt im Holzkörper mit eingezeichneten Bohrwiderstandsprofil (links) und als Bildanalyseprofil (rechts); Fraßgänge der Schädlinglarve werden deutlich als Einbruch (Pfeil) im Bohrprofil dargestellt	77
Abbildung 29: Fraßgänge von <i>Xestobium rufovillosum</i> in Eiche, dargestellt im Holzkörper mit eingezeichneten Bohrwiderstandsprofil (links) und als Bildanalyseprofil (rechts); bei vollständig aufgefressener Holzsubstanz (Pfeil) fällt der Bohrwiderstand bis zur Grundlinie	77
Abbildung 30: Fraßgänge von <i>Ptilinus pectinicornis</i> in Rotbuche, dargestellt im Holzkörper mit eingezeichneten Bohrwiderstandsprofil (links) und als Bildanalyseprofil (rechts); nur breite Fraßgänge (Pfeile) werden deutlich im Bohrwiderstandsprofil angezeigt	78

-
- Abbildung 31:** Fraßgänge von *Ptilinus pectinicornis* in Rotbuche, dargestellt im Holzkörper mit eingezeichneten Bohrwiderstandsprofil (links) und als Bildanalyseprofil (rechts); schmale Fraßgänge (Pfeile) werden im Bohrprofil nicht deutlich abgebildet 78
- Abbildung 32:** Fraßgänge von *Ptilinus pectinicornis* in Rotbuche, dargestellt im Holzkörper mit eingezeichneten Bohrwiderstandsprofil (links) und als Bildanalyseprofil (rechts); nicht verstopfte Fraßgänge (Pfeil) sind als deutlicher Einbruch im Bohrprofil erkennbar 79
- Abbildung 33:** Fraßgänge von *Ptilinus pectinicornis* in Rotbuche, dargestellt im Holzkörper mit eingezeichneten Bohrwiderstandsprofil (links) und als Bildanalyseprofil (rechts); bei starker Zerstörung und fehlendem Nagemehl wird der Schaden sichtbar 79
- Abbildung 34:** Holzoberfläche (Längsschnitt) ungeschädigter Kiefer (*Pinus sylvestris*) mit zugehörigem Bohrwiderstandsprofil (links) und Bildanalyseprofil (rechts); die Jahrringabfolge ist deutlich erkennbar, die mittige Markröhre wird durch ein niedriges Dichteniveau angezeigt, mittlerer Bohrwiderstand bei 250 80
- Abbildung 35:** Holzoberfläche (Längsschnitt) ungeschädigter Fichte (*Picea abies*) mit zugehörigem Bohrwiderstandsprofil (links) und Bildanalyseprofil (rechts); die Frühholz (hell)-Spätholz (dunkel)-Abfolge (Pfeil) markiert sich als Dichteschwankung, mittlerer Bohrwiderstand bei 250 80
- Abbildung 36:** Holzoberfläche (Längsschnitt) ungeschädigter Eiche (*Quercus* sp.) mit zugehörigem Bohrwiderstandsprofil (links) und Bildanalyseprofil (rechts); die Jahrringerkennung ist deutlich, mittlerer Bohrwiderstand bei 700 80
- Abbildung 37:** Holzoberfläche (Längsschnitt) ungeschädigter Rotbuche (*Fagus sylvatica*) mit zugehörigem Bohrwiderstandsprofil (links) und Bildanalyseprofil (rechts); die Jahrringerkennung ist teilweise unscharf, mittlerer Bohrwiderstand bei 600 81
- Abbildung 38:** Laufzeit / Intensitäts-Bild (A-Bild), Laufzeitkurve an einem Punkt einer ungeschädigten Kieferprobe (10 cm dick) mit deutlichem Rückwandecho und Vielfachecho der Rückwand [Geräteausdruck BAM] 82
- Abbildung 39:** Röntgenaufnahme (Foto OSTERLOH) eines Kantholzes aus Fichte mit Fraßschäden durch *Anobium punctatum* im äußeren Randbereich (oberes Bild) und Laufzeitkurven (A-Bilder) an 2 Messpunkten; Punktmessung 1 im Bereich der ungeschädigten Holzsubstanz mit Rückwandecho (mittleres Bild) und Punktmessung 2 im insektengeschädigten Randbereich des Holzkörpers mit fehlendem Echo (unteres Bild) [Geräteausdruck BAM] 83
- Abbildung 40:** Deckenbalken aus Lärche mit Insektenschäden an der Balkenunterseite und stärkeren Schwindrissen an der Balkenlängsseite (kleines Bild) sowie gemessenes B-Bild (links) und A-Bild (rechts); der Schwindriss in der Hälfte des Bauteilquerschnitts bei 100 mm führte zur Totalreflexion und verhindert die Detektion des Fraßschadens an der Balkenunterseite, der Ast führte zur Streuung der Schallsignale (Streukörper), die am Anfang fehlenden Oberflächenwellen im B-Bild (oben links) waren die Folge einer Dämpfung zwischen Sender und Empfänger (der Pfeil zeigt die Messrichtung an) [Geräteausdruck LGA] 84
- Abbildung 41:** Eichenprobe mit Fraßschäden durch *Xestobium rufovillosum* (kleines Bild) und gemessene Laufzeitkurve (A-Bild); das fehlende Rückwandecho zeigt den Fraßschaden im Holzkörper an [Geräteausdruck BAM] 85

Abbildung 42: Kantholz mit starken Fraßschäden im gesamten Holzquerschnitt durch <i>Ptilinus pectinicornis</i> (oberes Bild) und Laufzeitkurven (A-Bilder) an 2 Messpunkten; Messpunkt 1 mit deutlichem Echo (ohne Vielfachecho) an der Bauteilrückwand trotz Fraßschaden (mittleres Bild), Messpunkt 2 mit fehlendem Echo durch Dämpfung der Amplitude bei annähernd gleicher Fraßschädigung wie am Messpunkt 1 (unteres Bild) [Geräteausdruck BAM]	86
Abbildung 43: Holzkörper aus Rotbuche mit starkem Befall durch <i>Ptilinus pectinicornis</i> (kleines Bild) und gemessenes B-Bild (links) einschließlich A-Bild (rechts); klares Rückwandecho trotz starker Fraßstrukturen vom linken Rand bis zur Mitte des Kantholzes im B-Bild, fehlendes Echo im Astbereich des Holzkörpers durch Abschattung der Rückwand (der Pfeil zeigt die Messrichtung an) [Geräteausdruck LGA]	87
Abbildung 44: Monatsmittelwerte der Holzfeuchten in den Untersuchungsobjekten im Bereich der Papierablebungen für verschiedene Bauteilgruppen in 2005	161
Abbildung 45: Monatsmittelwerte der Holzfeuchten in den Untersuchungsobjekten im Bereich der Papierablebungen für verschiedene Bauteilgruppen in 2006	161
Abbildung 46: Liniendiagramm der Raumlufttemperatur und -feuchte im Zeitraum 01. März 2006 bis 28. Februar 2007 für das Untersuchungsgebäude 1, nachgewiesene Zielorganismen: <i>Anobium punctatum</i> , <i>Korynetes caeruleus</i>	162
Abbildung 47: Liniendiagramm der Raumlufttemperatur und -feuchte im Zeitraum 01. März 2006 bis 28. Februar 2007 für das Untersuchungsgebäude 8, nachgewiesene Zielorganismen: <i>Xestobium rufovillosum</i> , <i>Opilo mollis</i> , <i>Korynetes caeruleus</i>	162
Abbildung 48: Liniendiagramm der Raumlufttemperatur und -feuchte im Zeitraum 01. März 2006 bis 28. Februar 2007 für das Untersuchungsgebäude 10, nachgewiesene Zielorganismen: <i>Xestobium rufovillosum</i> , <i>Opilo mollis</i> , <i>Korynetes caeruleus</i>	163
Abbildung 49: Liniendiagramm der Raumlufttemperatur und -feuchte im Zeitraum 01. März 2006 bis 28. Februar 2007 für das Untersuchungsgebäude 22, nachgewiesene Zielorganismen: <i>Anobium punctatum</i> , <i>Korynetes caeruleus</i>	163
Abbildung 50: Liniendiagramm der Raumlufttemperatur und -feuchte im Zeitraum 01. März 2006 bis 28. Februar 2007 für das Untersuchungsgebäude 24, nachgewiesene Zielorganismen: <i>Anobium punctatum</i> , <i>Korynetes caeruleus</i> , <i>Opilo domesticus</i>	164
Abbildung 51: Liniendiagramm der Raumlufttemperatur und -feuchte im Zeitraum 01. März 2006 bis 28. Februar 2007 für das Untersuchungsgebäude 28, nachgewiesene Zielorganismen: <i>Anobium punctatum</i> , <i>Korynetes caeruleus</i> , <i>Opilo mollis</i>	164
Abbildung 52: Klimaverlauf bei den behandelten Proben vor, während und nach der Begasung mit 5 g/m ³ Sulfuryldifluorid für 24 Stunden von Anobien und Cleriden	171
Abbildung 53: Klimaverlauf bei den unbehandelten Proben vor, während und nach der Begasung mit 5 g/m ³ Sulfuryldifluorid für 24 Stunden von Anobien und Cleriden	171

Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 1: Natürliche Feinde der Nagekäfer aus den Familien der Buntkäfer (Col., Cleridae), Zipfelkäfer (Col., Malachiidae), Brackwespen (Hymenoptera, Braconidae), Ameisenwespen (Hymenoptera, Bethyidae), Erzwespen (Hymenoptera, Chalcididae), Milben (Arachnida, Acari) und Echte Spinnen (Arachnida, Araneae) nach Literaturangaben	11
Tabelle 2: Gesamtanzahl nachgewiesener Schlupflöcher in den Papierabklebungen adulter Tiere der Arten <i>X. rufovillosum</i> , <i>A. punctatum</i> , <i>K. caeruleus</i> , <i>O. mollis</i> im Zeitraum März bis August 2005	38
Tabelle 3: Gesamtanzahl nachgewiesener Schlupflöcher in den Papierabklebungen adulter Tiere der Arten <i>X. rufovillosum</i> , <i>A. punctatum</i> , <i>K. caeruleus</i> , <i>O. mollis</i> im Zeitraum März bis August 2006	39
Tabelle 4: Summe nachgewiesener Schlupflöcher adulter Bunt- und Nagekäfer in den Papierabklebungen und Mittelwert des Räuber-Beute-Verhältnisses (R/B) aus allen Untersuchungsgebäuden (2005: n = 26, 2006: n = 25), die beiden Nagekäfer- wurden als Beute und die Buntkäferarten als Räuber zusammengefasst (Ap = <i>Anobium punctatum</i> , Xr = <i>Xestobium rufovillosum</i> , Kc = <i>Korynetes caeruleus</i> , Om = <i>Opilo mollis</i>)	41
Tabelle 5: Prozentualer Anteil der mit Papierabklebungen nachgewiesenen Insektenarten, sortiert nach Holzarten für die Untersuchungsjahre 2005 und 2006 (Prozentangaben bezogen auf die vorhandenen Holzarten; Kiefernholz: 83% bzw. 81%, Eichenholz: 16% bzw. 18%, andere Holzarten: 1%)	42
Tabelle 6: Prozentualer Umfang vom aktiven Befall durch <i>Anobium punctatum</i> an verschiedenen Holzbauteilen, nachgewiesen 2005 und 2006 mit Papierabklebungen in Kirchen (n = 17)	43
Tabelle 7: Prozentualer Anteil des mit Klebefallen (2005: A = 9,32 m ² , 2006: A = 8,63 m ²) gefangenen Arthropodenspektrums (2.427 Individuen von April bis Oktober 2005, 1.331 Individuen von April bis August 2006)	47
Tabelle 8: Vergleich des Prozentsatzes der insgesamt in den Gebäuden (n = 21) mit horizontal ausgelegten und vertikal aufgehängten Klebepappen gefangenen Arthropoden von April bis August 2006	49
Tabelle 9: Vergleich der Anzahl gefangener Arthropoden in den untersuchten Gebäuden (n = 21) bei horizontaler und vertikaler Anordnung, sortiert nach mehrfarbigen und weißen Klebepappen von April bis August 2006 (in Klammern sind die Prozentsätze am Gesamtfang angegeben)	50
Tabelle 10: Nachgewiesene prädatorische Buntkäfer in Bauwerken mit Befall durch Nagekäfer	52
Tabelle 11: Flugbereitschaft adulter <i>Korynetes caeruleus</i> im Freiland mit Versuchstieren (n = 3 je Versuch) unter verschiedenen Temperaturbedingungen in besonnten und beschatteten Abflugflächen im Zeitraum 29. Mai bis 21. Juni 2008 (Windgeschwindigkeit 1,8 bis 3,1 m/s)	53
Tabelle 12: Mittlere Dauer der Puppenruhe von <i>Korynetes caeruleus</i> aus der Freilandentnahme und außerhalb des Holzsubstrates bei 20 °C und 50% r. F.	54
Tabelle 13: Anzahl jährlich geschlüpfter adulter Individuen aus Holzproben (<i>Fagus sylvatica</i>), bei täglicher Absammlung im Zeitraum 2006 bis 2008, mit Geschlechterverteilung	56

Tabelle 14: Monatsmittelwerte der Holzfeuchte [%] in 2005 für verschiedene Bauteilgruppen, gemessen an der Bauteiloberfläche in den Untersuchungsgebäuden (n = 26) im Bereich der Papierabklebungen	57
Tabelle 15: Monatsmittelwerte der Holzfeuchte [%] in 2006 für verschiedene Bauteilgruppen, gemessen an der Bauteiloberfläche in den Untersuchungsgebäuden (n = 25) im Bereich der Papierabklebungen	57
Tabelle 16: Statistische Analyse der Absolutwerte der relativen Luftfeuchte (r. F.) und Temperatur (ϑ) in 6 Untersuchungsgebäuden im Zeitraum vom 01. März 2006 bis 28. Februar 2007	58
Tabelle 17: Mittlere monatliche Raumlufttemperaturen in 6 Untersuchungsgebäuden während der Schlupfperiode 2006 und nachgewiesene Zielarten als Räuber-Beute-Beziehung	59
Tabelle 18: Lebensdauer und Anzahl der Häutungen von 15 Buntkäferlarven verschiedener Arten bei reichlichem Futterangebot an Tabakkäferlarven (Kc = <i>Korynetes caeruleus</i> , Od = <i>Opilo domesticus</i> , Om = <i>Opilo mollis</i> , Te = <i>Tillus elongatus</i>)	62
Tabelle 19: Mittelwerte gefressener Tabakkäferlarven pro Woche, zusammengefasst für jede einzelne Buntkäferart und Standardabweichung	62
Tabelle 20: Kumulative Mortalität (%) in Gruppen zu 10 Tieren gehaltener adulter <i>Korynetes caeruleus</i> bei Fütterung mit Larven von <i>Lasioderma serricorne</i> bzw. <i>Stegobium paniceum</i> und einer Haltungstemperatur von 17 °C und 70 % r. F.	64
Tabelle 21: Kumulative Mortalität verpaarter <i>Korynetes caeruleus</i> ohne Futterzugabe (Hungertiere) bei einer Haltungstemperatur von 17 °C, 23 °C, 30 °C und 70 % r. F.	65
Tabelle 22: Probit Analyse bezüglich der Zeit für gefütterte Tiere und ungefütterte Tiere (Hungertiere) adulter <i>Korynetes caeruleus</i>	66
Tabelle 23: Mittlere Lebensdauer in Tagen von verpaarten und Einzeltieren von <i>Tillus elongatus</i> bei Futterzugabe und einer Haltungstemperatur von 20 °C und 70 % r. F.	67
Tabelle 24: Mittlere Lebensdauer verpaarter <i>Tillus elongatus</i> , befruchteter Weibchen, verpaarter Männchen und männlicher Einzeltiere ohne Futterzugabe (Hungertiere) bei einer Haltungstemperatur von 20 °C und 70 % r. F.	67
Tabelle 25: Lebensdauer in Tagen gefütterter adulter <i>Opilo mollis</i> , gehalten als Einzeltier bei 20 °C und 50 % r. F. unter Zugabe verschiedener adulter Futtermittel (<i>Xr</i> = <i>Xestobium rufovillosum</i> , <i>Pt</i> = <i>Ptilinus pectinicornis</i>)	68
Tabelle 26: Eingesetzte Konzentrationsstufen von Sulfuryldifluorid in 4 Begasungsversuchen	69
Tabelle 27: Ergebnis des 1. Begasungsversuches mit 30 g/m ³ SF bei 72 h Einwirkzeit	70
Tabelle 28: Ergebnis des 2. Begasungsversuches mit 10 g/m ³ SF bei 72 h Einwirkzeit	70
Tabelle 29: Ergebnis des 3. Begasungsversuches mit 5 g/m ³ SF bei 72 h Einwirkzeit	71
Tabelle 30: Ergebnis des 4. Begasungsversuches mit 5 g/m ³ SF bei 24 h Einwirkzeit	71
Tabelle 31: Ergebnis des 4. Begasungsversuches mit 5 g/m ³ SF bei 24 h Einwirkzeit (ct-Produkt: 120 gh/m ³), 16 – 17 °C und 70 % r. F. zur 2. Nachkontrolle am 3. Tag nach Öffnung der Prüfklötze (• lebend, + tot, B behandelt, UB unbehandelt)	72
Tabelle 32: Ergebnis des 4. Begasungsversuches mit 5 g/m ³ SF bei 24 h Einwirkzeit (ct-Produkt: 120 gh/m ³), 16 – 17 °C und 70 % r. F. zur 3. Nachkontrolle am 11. Tag nach Öffnung der Prüfklötze (• lebend, + tot, B behandelt, UB unbehandelt)	72
Tabelle 33: Zusammenfassung der Ergebnisse aus den Begasungsversuchen	73

Tabelle 34: Korrelationskoeffizienten und Überschreitungswahrscheinlichkeiten unter der Nullhypothese zur Veranschaulichung des Zusammenhangs zwischen Schlupflochanzahl der Schadinsekten an der Holzoberfläche und Anzahl der Einbrüche im Bohrprofil für die Holzarten Fichte, Kiefer, Eiche und Rotbuche	81
Tabelle 35: Übersicht zu den Bauwerken	139
Tabelle 36: Relative Häufigkeit durch Schlupfloch nachgewiesener Organismen an den Papierabklebungen in den einzelnen Untersuchungsgebäuden in 2005	141
Tabelle 37: Mit Papierabklebungen ermittelte Aktivitätszahlen von adulten <i>Anobium punctatum</i> und <i>Xestobium rufovillosum</i> in den einzelnen Gebäuden, sortiert nach Monaten in 2005	142
Tabelle 38: Mit Papierabklebungen ermittelte Aktivitätszahlen von adulten Buntkäfern und Buntkäferlarven in den einzelnen Gebäuden, sortiert nach Monaten in 2005	143
Tabelle 39: Mit Papierabklebungen ermittelte Aktivitätszahlen von adulten parasitoiden Wespen in den einzelnen Gebäuden, sortiert nach Monaten in 2005	144
Tabelle 40: Relative Häufigkeit durch Schlupfloch nachgewiesener Organismen an den Papierabklebungen in den einzelnen Untersuchungsgebäuden in 2006:	145
Tabelle 41: Mit Papierabklebungen ermittelte Aktivitätszahlen von adulten <i>Anobium punctatum</i> und <i>Xestobium rufovillosum</i> in den einzelnen Gebäuden, sortiert nach Monaten in 2006	146
Tabelle 42: Mit Papierabklebungen ermittelte Aktivitätszahlen von adulten Buntkäfern und Buntkäferlarven in den einzelnen Gebäuden, sortiert nach Monaten in 2006	147
Tabelle 43: Mit Papierabklebungen ermittelte Aktivitätszahlen von adulten parasitoiden Wespen in den einzelnen Gebäuden, sortiert nach Monaten in 2006	148
Tabelle 44: Artbestimmung abgefangener parasitoider Wespen auf den Papierabklebungen in 2006	149
Tabelle 45: Anzahl nachgewiesener Schlupflöcher adulter Bunt- und Nagekäfer an Papierabklebungen und Räuber-Beute-Verhältnis (R/B) in den einzelnen Untersuchungsgebäuden in 2005 und 2006, die beiden Nagekäfer- wurden als Beute und die Buntkäferarten als Räuber zusammengefasst (Ap = <i>Anobium punctatum</i> , Xr = <i>Xestobium rufovillosum</i> , Kc = <i>Korynetes caeruleus</i> , Om = <i>Opilo mollis</i>)	149
Tabelle 46: Befallsnachweis durch Anobiidae auf den Papierabklebungen der untersuchten Bauwerke in 2005	150
Tabelle 47: Befallsnachweis durch Anobiidae auf den Papierabklebungen der untersuchten Bauwerke in 2006	151
Tabelle 48: Anzahl und Verteilung der mittels Klebefalle gefangenen Arthropoden in den einzelnen Bauwerken in 2005 bei horizontaler Anordnung	152
Tabelle 49: Anzahl und Verteilung der mittels Klebefalle gefangenen Arthropoden in den einzelnen Bauwerken in 2006, sortiert nach vertikaler und horizontaler Anordnung	153
Tabelle 50: Anzahl und Verteilung der mittels Klebefalle gefangenen Arthropoden in den einzelnen Bauwerken in 2006, sortiert nach weißer und buntfarbiger Klebefalle sowie horizontaler und vertikaler Anordnung	154
Tabelle 51: Anzahl nachgewiesener Schlupflöcher in den Papierabklebungen im Vergleich zur Anzahl der mittels Klebefalle gefangenen adulten Zielorganismen in 29 Untersuchungsgebäuden im Jahr 2006	156

Tabelle 52: Durch Aufsammlung in 23 Bauwerken nachgewiesene Buntkäferarten als Imagines und Larven von 2005 bis 2008	157
Tabelle 53: Gezüchtete Buntkäferarten im Imaginal- und Larvenstadium aus 3 Holzproben (<i>Fagus sylvatica</i>) von 2006 bis 2008	159
Tabelle 54: Datenblatt zu Eigenschaften und Wirkungsweise von Sulfuryldifluorid [SO ₂ F ₂]	165
Tabelle 55: Empfindlichkeit verschiedener Schädlingsarten aus dem Vorrats- und Materialschutz gegenüber Sulfuryldifluorid nach Literaturangaben	166
Tabelle 56: Zusammenstellung der für die Begasung verwendeten Prüflötze	168
Tabelle 57: Kontingenz zur Sofortkontrolle und Nachkontrolle beim Schädling <i>Anobium punctatum</i> zum Signifikanzniveau 0,05 (4. Begasung, ct-Produkt 120 gh/m ³)	168
Tabelle 58: Kontingenz zur Sofortkontrolle und Nachkontrolle beim Nützling <i>Korynetes caeruleus</i> zum Signifikanzniveau 0,05 (4. Begasung, ct-Produkt 120 gh/m ³)	168
Tabelle 59: Mittelwerte der von Buntkäferlarven gefressenen Futtertierlarven (<i>Lasioderma serricorne</i>) pro Woche für die Arten <i>Korynetes caeruleus</i> , <i>Opilo domesticus</i> , <i>Opilo mollis</i> und <i>Tillus elongatus</i> mit Fütterungszeitraum	169
Tabelle 60: Gewicht der für die Begasung mit Sulfuryldifluorid eingesetzten Larven (Ap = <i>A. punctatum</i> , Kc = <i>K. caeruleus</i>)	170
Tabelle 61: Übersicht zu Anzahl von Prüfflächen und Bohrungen an den für die Bohrwiderstandsmessungen verwendeten Hölzern mit Befall durch die Zielorganismen und biotische Sekundärschäden	172
Tabelle 62: Übersicht zu den Holzprüfkörpern der für die Ultraschallechomessung verwendeten Holzproben mit Befall durch die Zielorganismen und biotische Sekundärschäden	173

Glossarium

Abundanz: durchschnittliche Individuenzahl einer Art, bezogen auf eine bestimmte Raum- oder Flächeneinheit

adult: erwachsen, geschlechtsreif

aggregiert: geklumpt

Antagonist: natürlicher Gegenspieler

Art (Spezies): Gesamtheit aus sehr ähnlichen, aber nicht identischen Individuen, die miteinander fruchtbar kreuzbar sind

Arthropoda: Gliederfüßer, ein Stamm des Tierreiches, zu dem z. B. Insekten, Tausendfüßer, Krebse, Spinnen, Skorpione gehören

biologische Schädlingsbekämpfung: Nutzung von biologischen Antagonisten zur Bekämpfung von Schadorganismen

Diapause: physiologische Ruhepause von Insekten unter klimatisch ungünstigen Bedingungen, speziell Überwinterung

Diversität: Verschiedenheit, Vielfalt von Erscheinungsformen der Strukturen

dorsal: den Rücken betreffend, auf dem Rücken befindlich

Ektoparasiten: Schmarotzer, die außen an ihrem Wirt leben

Endoparasiten: Schmarotzer, die in ihrem Wirt leben
ex larva: aus der Larve
Habitat: Lebensraum einer Art (Spezies)
Habitus: äußere Körperbeschaffenheit
Imago (pl. Imagines): geschlechtsreifes Insekt
Kairomon: auf Individuen einer anderen Art anlockend wirkender biogener Signalstoff
karnivor: fleischfressend
LD₉₉: Dosis, bei der 99% der Organismen absterben
melanisiert: Verdunklung heller gefärbter Körper durch Anreicherung von Melaninen
monophag: spezialisiert auf den Konsum von nur einem Beutetier oder einem Wirt
Mortalität: Sterblichkeit in einer Population durch verschiedene Gründe: Krankheit, Parasiten, Witterung, Nahrung etc.; Häufigkeit der Sterbefälle in einer Population (%)
Nearktis: in der Biogeographie das Gebiet von Nordamerika bis Nord-Mexiko sowie Grönland, die Paläarktis bildet zusammen mit der Nearktis die Holarktis auf der nördlichen Erdhalbkugel
Oviposition: Applikation eines Parasiten-Eies in oder an einen Wirt mittels Legestachel (Ovipositor)
Paläarktis: in der Biogeographie die „alte“ Landmasse Europas, Nordafrikas bis zum Südrand der Sahara und Asiens sowie die vor diesen Gebieten liegenden Inseln
Parasitoid: Tier, das seine Entwicklung parasitisch beginnt, den Wirt durch die Parasitierung jedoch abtötet
Pheromon: biogener Signalstoff, der zur Kommunikation zwischen Individuen der gleichen Art dient (Sexuallockstoff)
polyhag: den Konsum von mehreren bis vielen Arten von Beutetieren oder Wirten umfassend, in Bezug auf die Nahrung wenig wählerisch
Population: Fortpflanzungsgemeinschaft einer Spezies oder Subspezies, die ihr Erbgut untereinander austauscht
Protozoen: einzellige Lebewesen
rezent: gegenwärtig, in der Jetztzeit lebend
Stamm: Gruppe von Individuen gleicher Abstammung
Synanthropie: Anpassung einer Tier- oder Pflanzenart an den menschlichen Siedlungsbe- reich, so dass sie nicht auf Ergänzung ihrer Population von außen angewiesen ist
Wirt: ein Organismus der einen Parasiten beherbergt
xylophag: Holz fressend, Bezeichnung für Tiere deren Nahrung überwiegend aus Holz besteht

8 Anhang

8.1 Monitoring der Schädlinge und ihrer natürlichen Feinde

Table 35: Übersicht zu den Bauwerken

Geb.-Nr.	Lage/Gebäude	GPS-Koordinaten	Gebäudealter	Bauweise
1	Alt Gaarz, Dorfkirche	012° 41' 34" Ost 53° 17' 35" Nord 65 m	1854/55	Fachwerksbau mit Stülp-schalung
2	Alt Karin, Wohnhaus	011° 46' 30" Ost 54° 00' 30" Nord 59 m	1699	Mischbauweise Fachwerk-/Steinbau
3	Alt Schwerin Agrarhistorisches Freilichtmuseum, ehem. Schafstall	012° 20' 44" Ost 53° 30' 37" Nord 63 m	um 1840	Mischbauweise Feldstein-/Backsteinbau, Rohrdach
4	Banzkow, Dorfkirche	011° 30' 58" Ost 53° 31' 21" Nord 37 m	1875	Backsteinbau
5	Hohen Spreng, Dorfkirche	012° 11' 49" Ost 53° 54' 56" Nord 30 m	Mitte 13. Jh.	Backsteinbau mit Feldsteinchor
6	Ivenack, Dorfkirche	012° 57' 28" Ost 53° 42' 44" Nord 40 m	Kern 2. H. 13. Jh., 1709 erneuert	verputzte Steinkirche
7	Klockenhagen Freilichtmuseum, Museumskirche Dargelütz	012° 21' 17" Ost 54° 14' 26" Nord 8 m	1790	Fachwerkbau
8	Klockenhagen Freilichtmuseum, Scheune Groß Bengerstorf	012° 21' 19" Ost 54° 14' 24" Nord 8 m	1596	3-Ständer Fachwerkbau, Rohrdach
9	Klockenhagen Freilichtmuseum, Scheune Klockenhagen IX	012° 21' 20" Ost 54° 14' 29" Nord 4 m	1800	3-Ständer Fachwerkbau
10	Klockenhagen Freilichtmuseum, Bauernhaus Strassen	012° 21' 18" Ost 54° 14' 25" Nord 7 m	1671	2-Ständer-Fachwerkbau, Rohrdach
11	Kritzkow, Dorfkirche	012° 14' 47" Ost 53° 53' 17" Nord 35 m	2. H. 14. Jh, Erneuerung 1900	Backsteinbau mit Sockel aus Feld- und Backstein
12	Kröpelin, Stadtkirche	011° 47' 42" Ost 54° 04' 20" Nord 69 m	um 1270, 1861/62 restauriert	Backsteinbau
13	Linstow Umsiedlermuseum, Büro-/Werkstattthaus	012° 23' 05" Ost 53° 36' 30" Nord 60 m	1996	Holzhaus mit Stülp-schalung
14	Linstow Umsiedlermuseum, Museumshaus/Wolhynisches Wohnhaus	012° 23' 05" Ost 53° 36' 30" Nord 60 m	1947	einfacher Blockbau, Rohrdach

Geb.-Nr.	Lage/Gebäude	GPS-Koordinaten	Gebäudealter	Bauweise
15	Lohmen, Dorfkirche	012° 05' 47" Ost 53° 41' 02" Nord 47 m	2. Hälfte 13. Jh.	Feldsteinbau
16	Lohmen, Pfarrhofscheune	012° 05' 51" Ost 53° 41' 01" Nord 47 m	1911	Fachwerkbau
17	Lohmen, Speicher	012° 05' 42" Ost 53° 40' 55" Nord 53 m	1910	Ziegelbau
18	Marlow, Stadtkirche	012° 34' 18" Ost 54° 09' 22" Nord 25 m	1215/20 - 1244	einschiffiger Backsteinbau
19	Neuburg, Dorfkirche	011° 35' 15" Ost 53° 56' 56" Nord 27 m	1220 - 1244, 1361 Westturm	Backsteinbau (vierjochige Basilika)
20	Nossentin, Dorfkirche	012° 27' 53" Ost 53° 31' 09" Nord 66 m	1830	Verklinkerter Fachwerkbau
21	Rostock, St. Marien Kirche	012° 07' 57" Ost 54° 05' 22" Nord 2 m	um 1290, 1796 Turmspitze	Dreischiffige Backsteinbasilika
22	Rowa, Dorfkirche	013° 16' 07" Ost 53° 29' 13" Nord 90 m	um 1400, Ostgie- bel 17. Jh.	Feldsteinsaal, Ostgiebel in Fachwerk
23	Sarmstorf, Kapelle	012° 12' 17" Ost 53° 50' 32" Nord 28 m	1681	Fachwerkbau aus Feldsteinsockel
24	Schwerin-Mueß Mecklen- burgisches Volkskunde- museum, Hirtenkaten	011° 28' 35" Ost 53° 35' 58" Nord 37 m	18. Jh.	Fachwerkbau, Rohrdach
25	Schwerin-Mueß Mecklen- burgisches Volkskunde- museum, Niederdeutsches Hallenhaus	011° 28' 35" Ost 53° 36' 00" Nord 36 m	1630	Fachwerkbau, Rohrdach
26	Schwerin-Mueß Mecklen- burgisches Volkskunde- museum, Scheune	011° 28' 35" Ost 53° 36' 00" Nord 36 m	18. Jh.	Fachwerkbau, Rohrdach
27	Steffenshagen, Dorfkirche	011° 49' 18" Ost 54° 06' 23" Nord 45 m	um 1280, 1862- 66 restauriert	Backsteinbau auf Feldsteinsockel
28	Sternberg, Stadtkirche	011° 49' 48" Ost 53° 42' 45" Nord 15 m	1310-20	dreischiffiger gotischer Backsteinbau
29	Zaschendorf, Dorfkirche	011° 36' 22" Ost 53° 41' 49" Nord 27 m	1648	Fachwerkkirche
ausschließlich zur Probenentnahme für Laborversuche				
(30)	Klockenhagen Freilichtmuseum, Traktorschuppen	012° 21' 21" Ost 54° 14' 29" Nord 4 m	1974	einfache Holzkonstruktion

Tabelle 36: Relative Häufigkeit durch Schlupfloch nachgewiesener Organismen an den Papierabklebungen in den einzelnen Untersuchungsgebäuden in 2005

Geb.-Nr.	Größe der Abklebung [m ²]	Schlupflöcher von				
		<i>Anobium punctatum</i>	<i>Xestobium rufovillosum</i>	adulte Buntkäfer	Buntkäfer-larven	parasitoide Wespen
1	4,95	181		4		108
2	1,15					
3	1,60	9			1	7
4	1,92	121		2	10	116
5	0,85	24	1			5
6	1,12	47				
7						
8	0,92	5	41	8	22	5
9	0,79	1			1	1
10	1,79	1	39		4	
11	1,10	31		1	3	11
12	2,59	31			2	9
13	0,90	355			7	6
14	0,22	8				
15	1,18	124				15
16	1,01			1		
17	1,00	2		2		
18	1,42	60			5	2
19	0,60	6	23	1		2
20	5,37	68		2		4
21	2,70	31	245	3	3	10
22	2,01	83		3	4	3
23	0,14					
24	1,51	375		3	31	27
25						
26						
27	1,49	55		1	1	2
28	1,19	54		2		42
29	1,45		11	3		
Σ	40,99	1.672	360	36	94	375

Tabelle 37: Mit Papierabklebungen ermittelte Aktivitätszahlen von adulten *Anobium punctatum* und *Xestobium rufovillosum* in den einzelnen Gebäuden, sortiert nach Monaten in 2005

Geb.- Nr.	<i>Anobium punctatum</i>						<i>Xestobium rufovillosum</i>					
	März	April	Mai	Juni	Juli	Au- gust	März	April	Mai	Juni	Juli	Au- gust
1				3	170	8						
2												
3					8	1						
4					114	7						
5				1	23				1			
6				1	45	1						
7												
8					3	2		18	23			
9					1							
10				1				35	2	2		
11					29	2						
12					27	4						
13				1	351	3						
14					8							
15					123	1						
16												
17					2							
18					58	2						
19					4	2			23			
20					63	5						
21				2	24	5		79	164	2		
22					81	2						
23												
24					368	7						
25												
26												
27					47	7						
28					55							
29								11				
Σ_m	0	0	0	9	1604	59	0	143	213	4	0	0
Σ_g	1672						360					

Legende: Σ_m Monatssummen
 Σ_g Gesamtsummen

Tabelle 38: Mit Papierabklebungen ermittelte Aktivitätszahlen von adulten Buntkäfern und Buntkäferlarven in den einzelnen Gebäuden, sortiert nach Monaten in 2005

Geb.- Nr.	adulte Buntkäfer						Buntkäferlarven							
	März	April	Mai	Juni	Juli	Au- gust	Sept./ Okt.	März	April	Mai	Juni	Juli	Au- gust	Sept./ Okt.
1			4											
2														
3												1		
4			2								7	2	1	
5														
6														
7														
8		6	2								6	1	5	10
9											1			
10														4
11				1								3		
12										2				
13										4			1	2
14														
15														
16					1									
17					2									
18														5
19				1										
20			2											
21				2	1								3	
22			1	2									1	3
23														
25					3						16	10	4	1
26														
24														
27				1										1
28				2										
29			1		2									
Σ_m	0	6	12	9	9	0	0	0	0	6	30	17	15	26
Σ_g	36						94							

Legende: Σ_m Monatssummen
 Σ_g Gesamtsummen

Tabelle 39: Mit Papierabklebungen ermittelte Aktivitätszahlen von adulten parasitoiden Wespen in den einzelnen Gebäuden, sortiert nach Monaten in 2005

Geb.- Nr.	März	April	Mai	Juni	Juli	August	Sept./Okt.
1				21	63	3	21
2							
3				1			6
4			1	23	38	25	29
5					4	1	
6							
7							
8					4	1	
98					1		
10							
11				3	5	3	
12					1	6	2
13					6		
14							
15				1	10	2	2
16							
17							
18					2		
19					1		1
20					2	2	
21			3	2	5		
22					2	1	
23							
24					18	7	2
25							
26							
27				2			
28				3	38	1	
29							
Σ_m	0	0	4	56	200	52	63
Σ_g	375						

Legende: Σ_m Monatssummen
 Σ_g Gesamtsummen

Tabelle 40: Relative Häufigkeit durch Schlupfloch nachgewiesener Organismen an den Papierabklebungen in den einzelnen Untersuchungsgebäuden in 2006:

Geb.-Nr.	Größe der Abklebung [m ²]	Schlupflöcher von				
		<i>Anobium punctatum</i>	<i>Xestobium rufovillosum</i>	adulten Buntkäfern	Buntkäfer-larven	parasitoiden Wespen
1	5,43	249		5	26	114
2						
3	1,60	25			7	15
4	2,20	130		1	29	59
5	0,85	23			1	15
6	1,12	71			2	7
7						
8	1,78	3	50	9	15	1
9	0,79	2		1	1	
10	2,76	1	42	1	3	3
11	2,21	84		1	10	15
12	2,59	56			7	28
13	1,52	695		3	15	2
14	0,22	14				4
15	1,56	121		1	4	7
16	1,01	1				
17	1,00	4			7	
18	1,42	72		1	22	2
19	0,60	2	31	4	1	12
20	4,42	83		2	15	7
21	3,44	145	186	7	39	4
22	3,45	201		3	27	14
23	0,90	5			1	
24	1,95	373		1	47	19
25						
26						
27	1,49	46			8	5
28	1,75	98		2	13	38
29	1,45		8			
Σ	47,51	2504	317	42	300	371

Tabelle 41: Mit Papierabklebungen ermittelte Aktivitätszahlen von adulten *Anobium punctatum* und *Xestobium rufovillosum* in den einzelnen Gebäuden, sortiert nach Monaten in 2006

Geb.- Nr.	<i>Anobium punctatum</i>						<i>Xestobium rufovillosum</i>					
	März	April	Mai	Juni	Juli	August	März	April	Mai	Juni	Juli	August
1				14	235							
2												
3					25							
4			1	89	40							
5				1	22							
6					66	5						
7												
8					3			4	46			
9					2							
10					1			41	1			
11			1	29	54							
12			4	3	49							
13				397	298							
14				5	9							
15				33	88							
16				1								
17					4							
18					66	6						
19					2				31			
20				7	76							
21					143	2		20	163	3		
22					157	44						
23				5								
24				213	149	11						
25												
26												
27				38	8							
28				18	80							
29									7	1		
Σ_m	0	0	6	853	1577	68	0	65	248	4	0	0
Σ_g	2504						317					

Legende: Σ_m Monatssummen
 Σ_g Gesamtsummen

Tabelle 42: Mit Papierabklebungen ermittelte Aktivitätszahlen von adulten Buntkäfern und Buntkäferlarven in den einzelnen Gebäuden, sortiert nach Monaten in 2006

Geb.- Nr.	adulte Buntkäfer						Buntkäferlarven					
	März	April	Mai	Juni	Juli	August	März	April	Mai	Juni	Juli	August
1			5						14		12	
2												
3											7	
4				1					3	8	18	
5										1		
6											1	1
10												
7		1	7		1						15	
8					1						1	
9		1						2		1		
11					1				1	2	7	
12										5	2	
13				3						7	8	
14												
15			1								4	
16												
17										1	6	
18						1					6	16
19			1	3						1		
20					2					1	14	
21			4	3					3	4	28	4
22			3							1	8	18
23											1	
24					1					9	23	15
25												
26												
27										6	2	
28			2						2	5	6	
29												
Σ_m	0	2	23	10	6	1	0	2	23	52	169	54
Σ_g	42						300					

Legende: Σ_m Monatssummen
 Σ_g Gesamtsummen

Tabelle 43: Mit Papierabklebungen ermittelte Aktivitätszahlen von adulten parasitoiden Wespen in den einzelnen Gebäuden, sortiert nach Monaten in 2006

Geb.- Nr.	März	April	Mai	Juni	Juli	August	Sept./Okt.
1				29	85		
2							
3					15		
4			1	28	30		
5				5	10		
6						7	
7							
8					1		
9							
10					3		
11				8	7		
12					28		
13						2	
14				2		2	
15				2	5		
16							
17							
18						2	
19					12		
20				5	2		
21			2		2		
22					2	12	
23							
24					9	10	
25							
26							
27					5		
28				8	30		
29							
Σ_m	0	0	3	87	246	35	0
Σ_g	371						

Legende: Σ_m Monatssummen
 Σ_g Gesamtsummen

Tabelle 44: Artbestimmung abgefangener parasitoider Wespen auf den Papierabklebungen in 2006

Gebäude-Nummer	Datum	Anzahl der Individuen	Spezies
1	01.07.2006	4	<i>Spathius exarator</i> L.
3	02.07.2006	1	<i>Spathius exarator</i> L.
4	09.07.2006	1	<i>Spathius exarator</i> L.
6	20.07.2006	1	<i>Spathius exarator</i> L.
11	10.07.2006	1	<i>Spathius exarator</i> L.
12	10.07.2006	1	<i>Spathius exarator</i> L.
15	10.07.2006	2	<i>Spathius exarator</i> L.
22	01.07.2006	1	<i>Spathius exarator</i> L.

Tabelle 45: Anzahl nachgewiesener Schlupflöcher adulter Bunt- und Nagekäfer an Papierabklebungen und Räuber-Beute-Verhältnis (R/B) in den einzelnen Untersuchungsgebäuden in 2005 und 2006, die beiden Nagekäfer- wurden als Beute und die Buntkäferarten als Räuber zusammengefasst (Ap = *Anobium punctatum*, Xr = *Xestobium rufovillosum*, Kc = *Korynetes caeruleus*, Om = *Opilo mollis*)

Geb.-Nr.	2005					2006				
	Ap	Xr	Kc	Om	R/B	Ap	Xr	Kc	Om	R/B
1	181		4		1:45	249		5		1:50
2					0:0					-
3	9				0:9	25				0:25
4	121		2		1:61	130		1		1:130
5	24	1			0:25	23				0:23
6	47				0:47	71				0:71
7					-					-
8	5	41		8	1:6	3	50	1	8	1:6
9	1				0:1	2		1		1:2
10	1	39			0:40	1	42	1		1:43
11	31		1		1:31	84		1		1:84
12	31				0:31	56				0:56
13	355				0:355	695		3		1:232
14	8				0:8	14				0:14
15	124				0:124	121		1		1:121
16			1		1:0	1				0:1
17	2		2		1:1	4				0:4
18	60				0:60	72		1		1:72
19	6	23	1		1:29	2	31	4		1:8
20	68	0	2		1:34	83		2		1:42
21	31	245	3		1:92	145	186	7		1:47
22	83		3		1:28	201		3		1:67
23					-	5				0:5

Geb.- Nr.	2005					2006				
	Ap	Xr	Kc	Om	R/B	Ap	Xr	Kc	Om	R/B
24	375		3		1:125	373		1		1:373
25					-					-
26					-					-
27	55		1		1:55	46				0:46
28	54		2		1:27	98		2		1:49
29		11	3		1:4		8			0:8
Σ	1.672	360	28	8	1:56	2504	317	34	8	1:67

Tabelle 46: Befallsnachweis durch Anobiidae auf den Papierabklebungen der untersuchten Bauwerke in 2005

Geb.- Nr.	Σ Papierabklebungen		mit Nachweis von Anobiidae		ohne Nachweis von Anobiidae	
	Fläche [m ²]	Anzahl n	Fläche [m ²]	Anzahl n	Fläche [m ²]	Anzahl n
1	4,95	16	3,82	12	1,13	4
2	1,15	6			1,15	6
3	1,60	7	0,83	5	0,78	2
4	1,92	14	1,86	13	0,06	1
5	0,85	10	0,67	7	0,17	3
6	1,12	10	0,65	5	0,48	5
8	0,92	4	0,92	4		
9	0,79	6	0,33	3	0,46	3
10	1,79	8	1,69	7	0,10	1
11	1,10	13	1,06	11	0,05	2
12	2,59	12	2,35	9	0,24	3
13	0,90	2	0,90	3		
14	0,22	3	0,22	2		
15	1,18	15	0,95	11	0,23	4
16	1,01	7	0,23	1	0,78	6
17	1,00	5	0,66	2	0,35	3
18	1,42	12	0,82	6	0,59	6
19	0,60	10	0,48	8	0,12	2
20	5,37	26	2,93	10	2,44	16
21	2,70	18	1,79	11	0,91	7
22	2,01	13	1,62	7	0,39	6
23	0,14	1			0,14	1
24	1,51	6	1,51	6		
27	1,49	11	0,29	2	1,20	9
28	1,19	10	1,16	9	0,04	1
29	1,45	12	0,78	6	0,68	6
Σ	40,99	257	28,51	160	12,47	97
%			70 %		30 %	

Tabelle 47: Befallsnachweis durch Anobiidae auf den Papierabklebungen der untersuchten Bauwerke in 2006

Geb.- Nr.	Σ Papierabklebungen		mit Nachweis von Anobiidae		ohne Nachweis von Anobiidae	
	Fläche [m ²]	Anzahl n	Fläche [m ²]	Anzahl n	Fläche [m ²]	Anzahl n
1	5,43	24	4,67	20	0,77	4
3	1,60	7	0,83	4	0,78	3
4	2,20	18	2,13	17	0,06	1
5	0,85	10	0,66	7	0,18	3
6	1,12	10	0,97	6	0,16	4
8	1,78	7	1,62	6	0,16	1
9	0,79	6	0,53	4	0,26	2
10	2,76	12	2,26	8	0,50	4
11	2,21	20	2,09	17	0,13	3
12	2,59	12	2,48	10	0,11	2
13	1,52	5	1,52	5		
14	0,22	3	0,17	2	0,05	1
15	1,56	14	1,31	9	0,25	5
16	1,01	7	0,04	1	0,97	6
17	1,00	5	0,89	4	0,11	1
18	1,42	12	1,26	9	0,15	3
19	0,60	10	0,40	6	0,20	4
20	4,42	19	3,00	10	1,43	9
21	3,44	20	2,53	12	0,92	8
22	3,45	25	3,02	19	0,43	6
23	0,90	7	0,43	2	0,47	5
24	1,95	10	1,95	10		
27	1,49	11	0,14	2	1,35	9
28	1,75	16	1,65	15	0,10	1
29	1,45	12	0,53	4	0,93	8
Σ	47,51	302	37,07	209	10,45	93
%			78 %		22 %	

Tabelle 48: Anzahl und Verteilung der mittels Klebefalle gefangenen Arthropoden in den einzelnen Bauwerken in 2005 bei horizontaler Anordnung

Gebäude-Nummer	Anordnung im Gebäude	Fläche [m ²]	<i>Xestobium rufovillosum</i>	<i>Anobium punctatum</i>	<i>Korynetes caeruleus Adulti</i>	<i>Korynetes caeruleus Larven</i>	<i>Opilo mollis/domesticus* Adulti</i>	<i>Opilo mollis/domesticus* Larven</i>	Hymenoptera	andere Coleoptera	Diptera	andere Arthropoden	Anzahl der Individuen
1	horizontal	0,73		36	2	1			36	3	45	60	183
3	horizontal	0,26		12	1		1*		2	3	8	12	39
4	horizontal	0,89		23	3	3			18	7	17	28	99
5	horizontal	0,37	1	2	0	1			4		2	14	24
6	horizontal	0,77		53	1				4	14	61	64	197
7	horizontal	0,15		1	4	1			3	7	4	210	230
10	horizontal	0,22	7		1				6	8	2	67	91
11	horizontal	0,19		8		1			7	1		40	57
13	horizontal	0,08		3					1		2	11	17
16	horizontal	0,02								1	1	7	9
17	horizontal	0,04				1						9	10
18	horizontal	0,39		12	1							16	29
19	horizontal	0,51		7	6				1	8	129	33	184
20	horizontal	0,73		8					13	7	276	34	338
21	horizontal	0,77	37	7	3	2			0	5	41	32	127
22	horizontal	0,61		9	4	2			9	8	4	74	110
23	horizontal	0,40		13	16	14			3	10	2	28	86
24	horizontal	0,30		2							3	13	18
25	horizontal	0,18									2	4	6
26	horizontal	0,38	4								17	0	21
27	horizontal	0,62		3	4				6	16	7	138	174
28	horizontal	0,50		13					78		199	21	311
29	horizontal	0,21	8	1	2				1	7	3	45	67
Σ gesamt		9,32	57	213	48	26	1		192	105	825	960	2427
Σ Gruppe			270			75			192	105	825	960	

Tabelle 49: Anzahl und Verteilung der mittels Klebefalle gefangenen Arthropoden in den einzelnen Bauwerken in 2006, sortiert nach vertikaler und horizontaler Anordnung

Gebäude-Nummer	Anordnung im Gebäude	Fläche [m ²]	<i>Xestobium rufovillosum</i>	<i>Anobium punctatum</i>	<i>Korynetes caeruleus</i> Adulti	<i>Korynetes caeruleus</i> Larven	<i>Opilo mollis</i> / <i>domesticus</i> * Adulti	<i>Opilo mollis</i> / <i>domesticus</i> * Larven	Hymenoptera	andere Coleoptera	Diptera	andere Arthropoden	Anzahl der Individuen
1	horizontal	0,48		4	5	3			11	1	6	5	35
1	vertikal	0,25							4	2	6	5	17
3	horizontal	0,16		3	1				1	8	7	28	48
3	vertikal	0,41		14	2				48	8	14	15	101
4	horizontal	0,75		22					19	2		3	46
5	horizontal	0,30		2					4			13	19
6	horizontal	0,05							1	2	4	2	9
7	horizontal	0,07	1	3	2	1				3		44	54
8	horizontal	0,31	34	13	5		7	1	45	5	4	34	148
8	vertikal	0,22		3					16		4	21	44
9	horizontal	0,06		5	1		1*		5	15	1	25	53
10	horizontal	0,08	15	1	1					2	1	28	48
11	horizontal	0,80	2	27	46	1			27	11	7	36	157
11	vertikal	0,32		2	4				2	3	1	2	14
12	horizontal	0,22		4								3	7
14	vertikal	0,16		6					2	1	13	4	26
15	horizontal	0,36		1					6			2	9
18	horizontal	0,22		1		2					1		4
19	horizontal	0,22										4	4
20	horizontal	0,35							5		2	9	16
21	horizontal	0,94	3	31	1				1	5	18	46	105
21	vertikal	0,49	2	23					2	4	49	6	86
22	horizontal	0,24		38	2				4	3	3	38	88
22	vertikal	0,19		12	1				1	1		1	16
23	horizontal	0,08		1	1	2			1	7	1	15	28
23	vertikal	0,15							1				1
28	horizontal	0,69		5		1			70	9	1	40	126
29	horizontal	0,03		2						2		18	22
Σ gesamt		8,63	57	223	72	10	8	1	276	94	143	447	1331
Σ horizontal		6,44	55	163	65	10	8	1	200	75	56	393	1026
Σ vertikal		2,19	2	60	7				76	19	87	54	305
Σ Gruppe horizontal				218			84		200	75	56	393	
Σ Gruppe vertikal				62			7		76	19	87	54	

Tabelle 50: Anzahl und Verteilung der mittels Klebefalle gefangenen Arthropoden in den einzelnen Bauwerken in 2006, sortiert nach weißer und buntfarbiger Klebefalle sowie horizontaler und vertikaler Anordnung

Gebäude-Nummer	Auslegebereich	Fläche [m ²]	<i>Xestobium rufvillosum</i>	<i>Anobium punctatum</i>	<i>Korynetes caeruleus</i> Adulti	<i>Korynetes caeruleus</i> Larven	<i>Opilo mollis/domesticus</i> * Adulti	<i>Opilo mollis/domesticus</i> * Larven	Hymenoptera	andere Coleoptera	Diptera	andere Arthropoden	Anzahl der Individuen
1	weiß vertikal	0,13							1	2	1	3	7
1	weiß horizontal	0,03			3	1			3	1	4	5	17
1	bunt vertikal	0,13							3		5	2	10
1	bunt horizontal	0,45		4	2	2			8		2		18
3	weiß vertikal	0,17		9					23	1		12	45
3	weiß horizontal	0,16		3	1				1	8	7	28	48
3	bunt vertikal	0,24		5	2				25	7	14	3	56
4	weiß horizontal	0,45		4					5	1		2	12
4	bunt horizontal	0,30		18					14	1		1	34
5	bunt horizontal	0,30		2					4			13	19
6	weiß horizontal	0,01									1	1	2
6	bunt horizontal	0,03							1	2	3	1	7
7	weiß horizontal	0,01								1		6	7
7	bunt horizontal	0,06	1	3	2	1				2		38	47
8	weiß horizontal	0,01								4	1	1	6
8	bunt vertikal	0,22		3					16		4	21	44
8	bunt horizontal	0,30	34	13	5		7	1	45	1	3	33	142
9	weiß horizontal	0,02		3	1		1*		5	15	1	14	40
9	bunt horizontal	0,05		2								11	13
10	weiß horizontal	0,02	9	1						2		5	17
10	bunt horizontal	0,06	6		1						1	23	31
11	bunt vertikal	0,32		2	4				2	3	1	2	14
11	bunt horizontal	0,80	2	27	46	1			27	11	7	36	157
12	weiß horizontal	0,22		4								3	7
13	weiß vertikal	0,09		3					1		7	2	13
13	bunt vertikal	0,07		3					1	1	6	2	13
15	weiß horizontal	0,34							1			1	2
15	bunt horizontal	0,03		1					5			1	7
18	weiß horizontal	0,22		1		2					1		4
19	weiß horizontal	0,22										4	4
20	weiß horizontal	0,35							5		2	9	16
21	weiß vertikal	0,07	2	1									3

Gebäude-Nummer	Auslegebereich	Fläche [m ²]	<i>Xestobium rufvillosum</i>	<i>Anobium punctatum</i>	<i>Korynetes caeruleus</i> Adulti	<i>Korynetes caeruleus</i> Larven	<i>Opilo mollis/domesticus</i> * Adulti	<i>Opilo mollis/domesticus</i> * Larven	Hymenoptera	andere Coleoptera	Diptera	andere Arthropoden	Anzahl der Individuen
21	bunt vertikal	0,42		22					2	4	49	6	83
21	bunt horizontal	0,94	3	31	1				1	5	18	46	105
22	weiß vertikal	0,09		10					1				11
22	weiß horizontal	0,02		1	1					3	1	24	30
22	bunt vertikal	0,09		2	1					1		1	5
22	bunt horizontal	0,23		37	1				4		2	14	58
23	weiß horizontal	0,06		1	1	2			1	6	1	12	24
23	bunt vertikal	0,15							1				1
23	bunt horizontal	0,02							0	1		3	4
28	weiß horizontal	0,24		1					10	7		40	58
28	bunt horizontal	0,45		4		1			60	2	1	0	68
29	bunt horizontal	0,03		2						2		18	22
Σ gesamt		8,63	57	223	72	10	8	1	276	94	143	447	1331
Σ weiß vertikal		0,55	2	23					26	3	8	17	79
Σ weiß horizontal		2,38	9	19	7	5	1	0	31	48	19	155	294
Σ bunt vertikal		1,64	0	37	7	0	0	0	50	16	79	37	226
Σ bunt horizontal		4,06	46	144	58	5	7	1	169	27	37	238	732
Σ Gruppe weiß vertikal			25				0		26	3	8	17	
Σ Gruppe weiß horizontal			28				13		31	48	19	155	
Σ Gruppe bunt vertikal			37				7		50	16	79	37	
Σ Gruppe bunt horizontal			190				71		169	27	37	238	

Tabelle 51: Anzahl nachgewiesener Schlupflöcher in den Papierabklebungen im Vergleich zur Anzahl der mittels Klebefalle gefangenen adulten Zielorganismen in 29 Untersuchungsgebäuden im Jahr 2006

Geb.-Nr.	Anzahl von Schlupflöchern der Imago im Papier			Anzahl gefangener Imago auf Klebefallen		
	<i>Anobium punctatum</i>	<i>Xestobium rufovillosum</i>	Cleridae	<i>Anobium punctatum</i>	<i>Xestobium rufovillosum</i>	Cleridae
1	249	0	5	4	0	5
2	0	0	0	0	0	0
3	25	0	0	17	0	3
4	130	0	1	22	0	0
5	23	0	0	2	0	0
6	71	0	0	0	0	0
7	0	0	0	3	1	2
8	3	50	9	16	34	12
9	2	0	1	5	0	2
10	1	42	1	1	15	1
11	84	0	1	29	2	50
12	56	0	0	4	0	0
13	695	0	3	6	0	0
14	14	0	0	0	0	0
15	121	0	1	1	0	0
16	1	0	0	0	0	0
17	4	0	0	0	0	0
18	72	0	1	1	0	0
19	2	31	4	0	0	0
20	83	0	2	0	0	0
21	145	186	7	54	5	1
22	201	0	3	50	0	3
23	5	0	0	1	0	1
24	373	0	1	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	0	0
27	46	0	0	0	0	0
28	98	0	2	5	0	0
29	0	8	0	2	0	0
Σ	2504	317	42	223	57	80

Tabelle 52: Durch Aufsammlung in 23 Bauwerken nachgewiesene Buntkäferarten als Imagines und Larven von 2005 bis 2008

***Korynetes caeruleus* [DeGeer, 1775]**

Gebäude-Nummer	Datum	Imagines n	Larven n
1	09.05.2006	1	7
	04.06.2006	24	
	09.05.2006		9
	29.04.2007	36	17
	01.05.2007	10	9
	26.04.2008		24
	01.05.2008	2	24
3	04.06.2006	6	
4	25.05.2005	4	
	22.06.2005	1	
	10.05.2006		4
	02.06.2006	17	
	29.04.2007	3	6
5	04.06.2005		1
6	21.06.2005	2	1
7	04.06.2006	3	
8	05.06.2005	2	
	04.06.2006	1	
9	23.05.2005	1	
	04.06.2006	3	
10	23.5.2005	1	
	17.05.2006	2	
11	23.05.2005	1	
	04.06.2005	2	
	23.06.2005	88	
	03.06.2006	15	
15	03.06.2006	5	
16	24.05.2005	1	
17	30.07.2005		1
18	23.05.2005	1	
	23.05.2006	1	
19	09.07.2006	3	
20	25.05.2005	1	
21	24.05.2005	1	
	17.05.2006	1	
	03.06.2006	12	
	23.05.2005	27	
22	28.07.2005		2
	09.05.2006		1
	04.06.2006	33	
	01.07.2006	4	
	29.04.2007	1	1
	25.05.2008	92	

Gebäude-Nummer	Datum	Imagines n	Larven n
23	03.06.2006	2	2
24	03.06.2006	4	
27	28.06.2005	1	
28	24.05.2005		1
	22.06.2005	2	
	10.05.2006		1
	03.06.2006	5	
	29.04.2007		2
29	16.05.2006	1	
Σ		423	113

Opilo mollis [Linnaeus, 1758]

Gebäude-Nummer	Datum	Imagines n	Larven n
7	04.06.2006	2	
	01.04.2007	1	
8	14.04.2005	1	
	27.04.2006	1	
	04.06.2006	9	
	11.07.2006		1
	01.04.2007	1	
9	04.06.2006	1	
10	14.04.2005	1	
	28.04.2005	1	
	27.04.2006	3	
10	17.05.2006	2	
	01.04.2007	1	
28	29.04.2007		2
Σ		24	3

Opilo domesticus [Sturm, 1837]

Gebäude-Nummer	Datum	Imagines n	Larven n
4	10.05.2006		1
9	05.06.2005		1
	29.07.2005	1	
24	05.05.2005		1
Σ		1	3

Tabelle 53: Gezüchtete Buntkäferarten im Imaginal- und Larvenstadium aus 3 Holzproben (*Fagus sylvatica*) von 2006 bis 2008

***Korynetes caeruleus* [DeGeer, 1775]**

Gebäude-Nummer	Datum	Imagines n	Larven n
(30) Holzprobe I e.l.	06.05.2006	1	
	07.05.2006		1
	11.05.2006	1	
	13.04.2007	2	
	14.04.2007	1	
	15.04.2007	1	
	25.04.2008	1	
(30) Holzprobe II e.l.	19.04.2007	1	
	26.04.2008	1	
(30) Holzprobe III	17.04.2008		1
	26.04.2008		1
	11.06.2008		1
Σ		10	4

***Opilo mollis* [Linnaeus, 1758]**

Gebäude-Nummer	Datum	Imagines n	Larven n
(30) Holzprobe I	06.05.2006		1
Σ			1

***Tillus elongatus* [Linnaeus, 1758]**

Gebäude-Nummer	Datum	Imagines n		Larven n
		♀	♂	
(30) Holzprobe I e.l.	21.05.2006	1	9	
	14.06.2006		1	
	20.08.2006			1
	13.04.2007	1	1	
	19.04.2007		1	
	20.04.2007		2	
	24.04.2007		1	
	27.04.2007	1		
	28.04.2007		1	

Gebäude-Nummer	Datum	Imagines n	Larven n	Larven n
(30) Holzprobe I e.l.	01.05.2007	1	1	
	04.05.2007	1		
(30) Holzprobe II (bestehend aus 2 Einzelproben) e.l.	17.04.2007			1
	20.04.2007			1
	01.05.2007	1	2	
	02.05.2007	4		
	03.05.2007	1	2	
	04.05.2007		5	
	25.04.2008	2	1	
	29.04.2008	1	1	
	03.05.2008	1		
	04.05.2008		2	
	10.05.2008		1	
	12.05.2008	1		
	18.05.2008	1		
	21.05.2008		1	
	27.05.2008	1		
	29.05.2008	1		
30.05.2008	1			
08.06.2008	1			
(30) Holzprobe III e.l.	30.04.2008		1	
	01.05.2008		1	
	05.05.2008		1	
	12.05.2008	1		
	21.05.2008		2	
	23.05.2008	1	1	
	24.05.2008		1	
	28.05.2008	1		
	29.05.2008	1		
	31.05.2008	1	1	
01.06.2008	1	1		
10.06.2008	1			
Σ		28	41	3

e.l. = ex larva

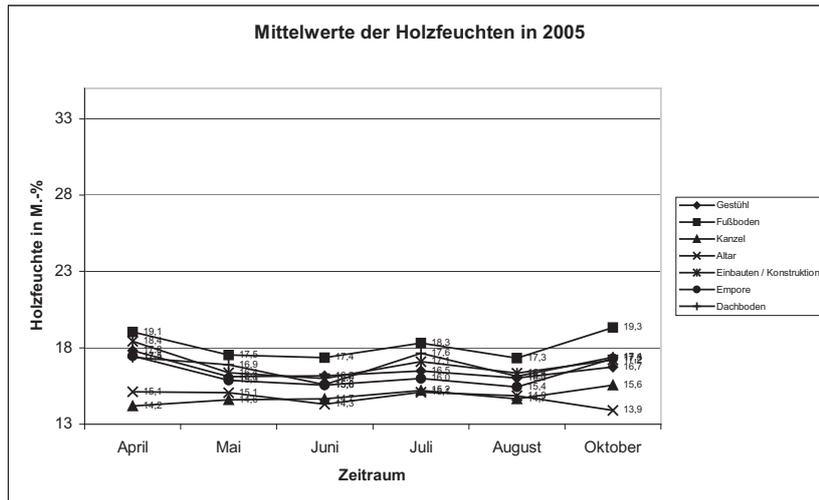


Abbildung 44: Monatsmittelwerte der Holzfeuchten in den Untersuchungsobjekten im Bereich der Papierabklebungen für verschiedene Bauteilgruppen in 2005

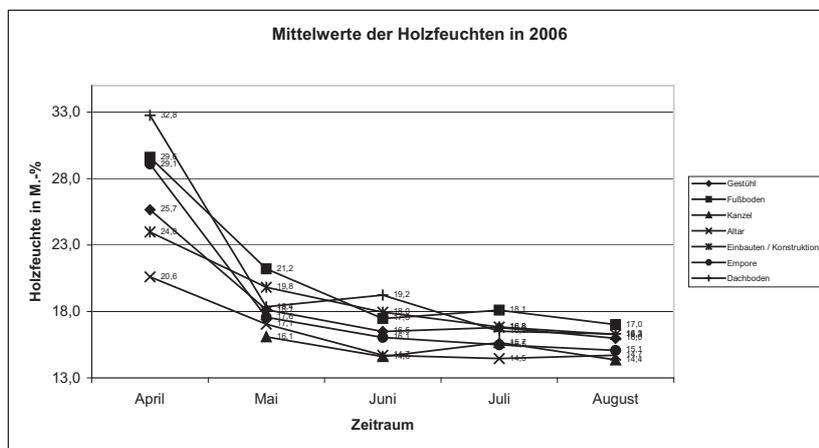


Abbildung 45: Monatsmittelwerte der Holzfeuchten in den Untersuchungsobjekten im Bereich der Papierabklebungen für verschiedene Bauteilgruppen in 2006

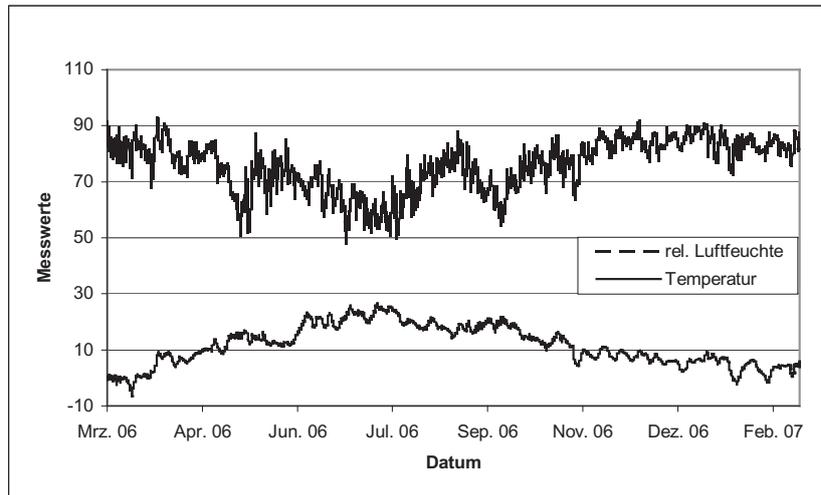


Abbildung 46: Liniendiagramm der Raumlufttemperatur und -feuchte im Zeitraum 01. März 2006 bis 28. Februar 2007 für das Untersuchungsgebäude 1, nachgewiesene Zielorganismen: *Anobium punctatum*, *Korynetes caeruleus*

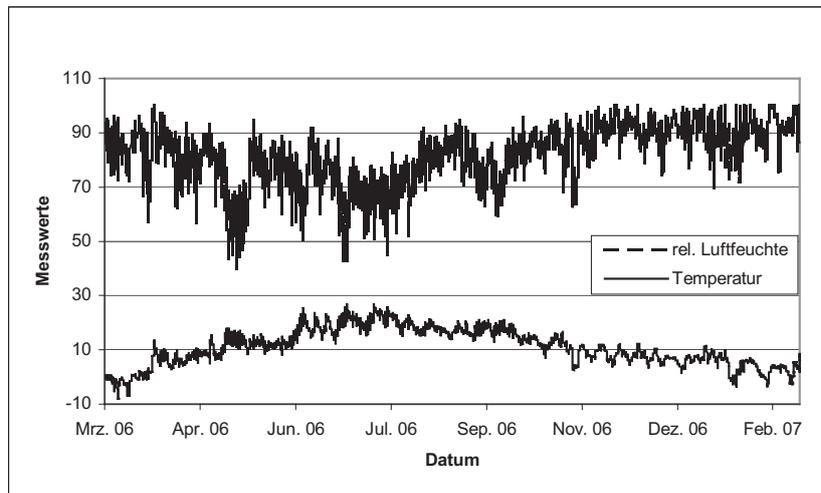


Abbildung 47: Liniendiagramm der Raumlufttemperatur und -feuchte im Zeitraum 01. März 2006 bis 28. Februar 2007 für das Untersuchungsgebäude 8, nachgewiesene Zielorganismen: *Xestobium rufovillosum*, *Opilo mollis*, *Korynetes caeruleus*

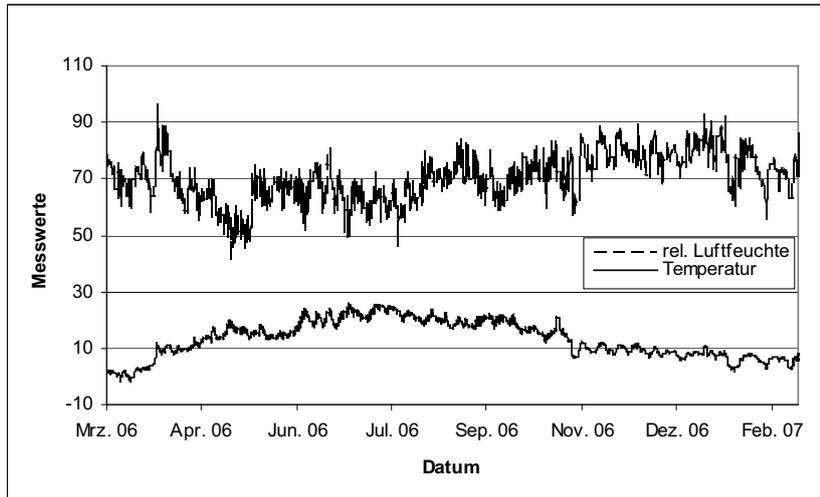


Abbildung 48: Liniendiagramm der Raumlufttemperatur und -feuchte im Zeitraum 01. März 2006 bis 28. Februar 2007 für das Untersuchungsgebäude 10, nachgewiesene Zielorganismen: *Xestobium rufovillosum*, *Opilo mollis*, *Korynetes caeruleus*

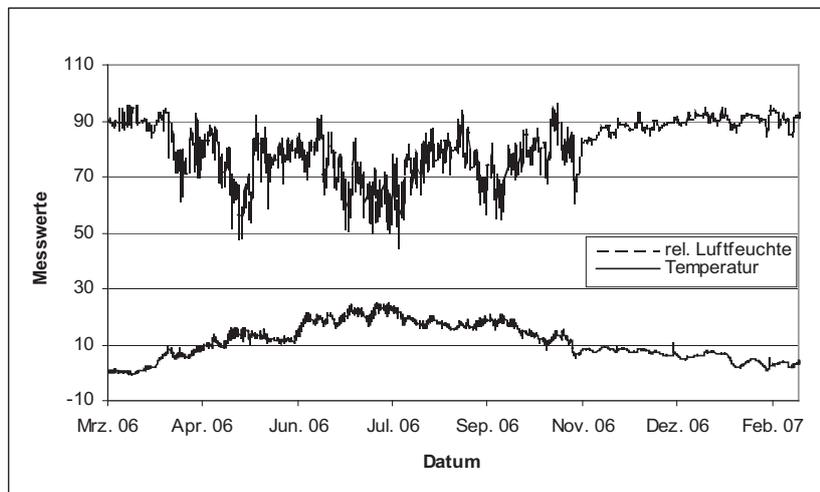


Abbildung 49: Liniendiagramm der Raumlufttemperatur und -feuchte im Zeitraum 01. März 2006 bis 28. Februar 2007 für das Untersuchungsgebäude 22, nachgewiesene Zielorganismen: *Anobium punctatum*, *Korynetes caeruleus*

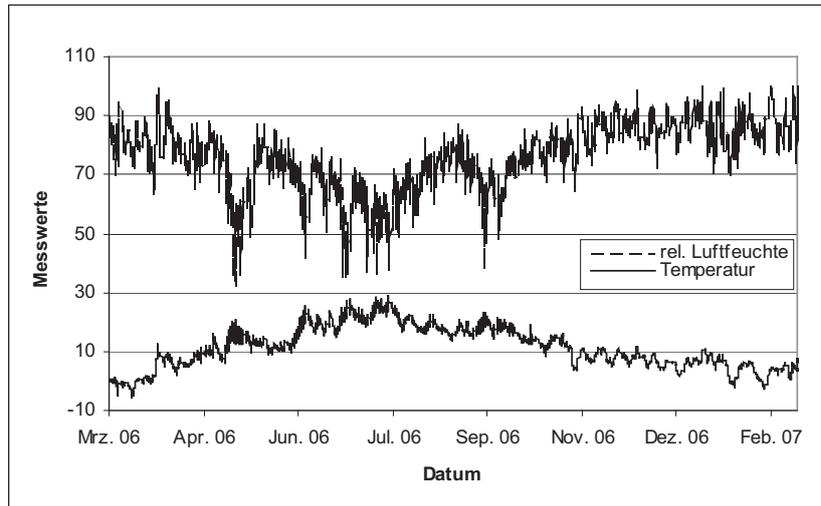


Abbildung 50: Liniendiagramm der Raumlufttemperatur und -feuchte im Zeitraum 01. März 2006 bis 28. Februar 2007 für das Untersuchungsgebäude 24, nachgewiesene Zielorganismen: *Anobium punctatum*, *Korynetes caeruleus*, *Opilo domesticus*

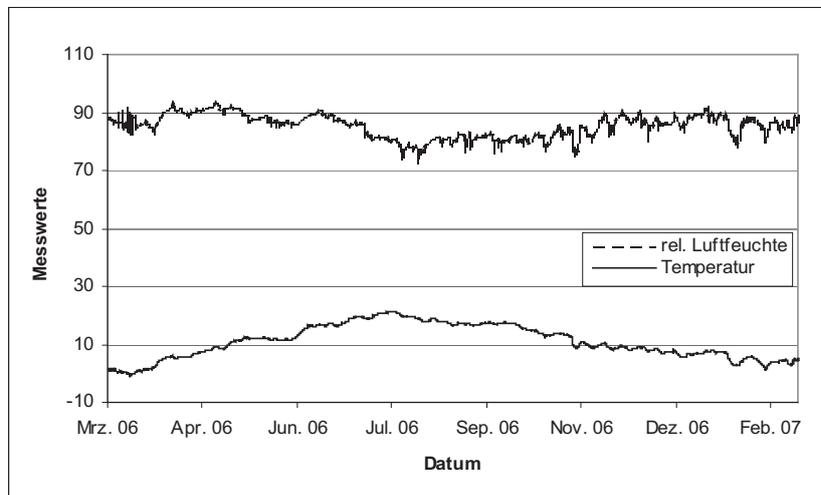


Abbildung 51: Liniendiagramm der Raumlufttemperatur und -feuchte im Zeitraum 01. März 2006 bis 28. Februar 2007 für das Untersuchungsgebäude 28, nachgewiesene Zielorganismen: *Anobium punctatum*, *Korynetes caeruleus*, *Opilo mollis*

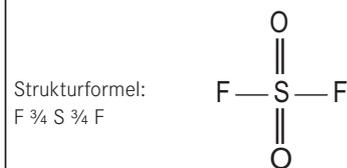
8.2 Laborversuche mit Buntkäfern

Tabelle 54: Datenblatt zu Eigenschaften und Wirkungsweise von Sulfuryldifluorid [SO₂F₂]

Sulfuryldifluorid (SF₂) ist ein geruchloses, farbloses, nichtbrennbares Gas und ungefähr 3,5 mal schwerer als Luft (KENAGA 1957, STEWART 1957, SCHNEIDER 1993). Es wirkt als Gas nicht korrosiv und ist gering wasserlöslich. Der sehr niedrige Siedepunkt lässt eine Kondensation im kühlen Bauwerk nicht erwarten (BINKER et al. 2008) und gewährleistet, dass SF₂ unter praktischen Anwendungsbedingungen immer gasförmig vorliegt (REICHMUTH & KLEMENTZ 2008 b).

Sulfuryldifluorid besitzt einen hohen Dampfdruck und verfliegt bei Belüftung sehr schnell. Als nicht-adsorptives Gas hinterlässt es nach der Begasung keine ausgasenden Rückstände. Der Rückstand der Begasung ist Fluorid. Das Gas besitzt keine Ozon zerstörenden Eigenschaften (BAILEY 1992)

Die Wirkungsweise von Sulfuryldifluorid beruht auf der Unterbrechung der Glykolyse- und Fettsäurezyklen der Schädlinge, und nimmt so dem Insekt die notwendige Zellenergie (MEIKLE et al. 1963). Nachdem Sulfuryldifluorid entweder durch die Stigmen in postembryonalen Lebensstadien oder Diffusion durch die Eischale eindringt, wird der Wirkstoff in das insektizid aktive Fluoridanion zerlegt. Die insektizide Aktivität entsteht durch die Fluoridinhibition von Enzymsystemen, die Magnesium innerhalb des Glykolysezyklus verwenden (MEIKLE et al. 1963). Nach der Hemmung der Glykolyse- und Fettsäurezyklen versucht der Organismus Protein und Aminosäuren zu verwerten, um ein lebenserhaltendes Energieniveau aufrecht zu erhalten. Diese alternativen energieerzeugenden Prozesse sind für den lebenserhaltenden Stoffwechsel jedoch unzureichend (SF TECHN. INFORMATION 2002).



Physikalische Eigenschaften:

Molekulargewicht	102,06 mol
Schmelzpunkt bei 1013 hPa	-136,67 °C
Siedepunkt bei 1013 hPa	- 55,2 °C
Löslichkeit in Wasser bei 25 °C	750 ppm
Spezifisches Gewicht bei 25 °C, 1013 hPa	4,18 mg/ml
Relative Gasdichte bei 20 °C	3,52
Dampfdruck bei 20 °C	1.611,467 kPa

Tabelle 55: Empfindlichkeit verschiedener Schädlingsarten aus dem Vorrats- und Materialschutz gegenüber Sulfuryldifluorid nach Literaturangaben

Art	Stadium	r. F [%]	Temp. [°C]	Zeit [h]	Konz. SF [g/m ³]	ct-Produkt [gh/m ³]	Mortalität [%]	Literatur
Vorratsschädlinge								
Rotbrauner Reismehlkäfer <i>Tribolium castaneum</i>	alle Stadien	50-80	20-40	-	-	1860-2055	98,9	REICHMUTH ET AL. 2003
Getreideplattkäfer <i>Oryzaephilus surinamensis</i>	alle Stadien	50-80	20-40	-	-	1860-2055	99,1-100	
Mehlkäfer <i>Tenebrio molitor</i>	alle Stadien	50-80	20-40	-	-	1860-2055	99,5	
Dörrobstmotte <i>Plodia interpunctella</i>	1-4 Tage alte Eier	70	25	48	14	672	100	REICHMUTH ET AL. 1998
Mehlmotte <i>Ephesia kuehniella</i>	1-4 Tage alte Eier	-	20	72	20	1440	100	
Speichermotte <i>Ephesia elutella</i>	Larven, Puppen	65	25	18	11,6	209	100	BALTACI ET AL. 2006
				24	11,6	278	100	
				48	11,6	557	100	
	1-4 Tage alte Eier	65	25	48	11,6	557	98	
	3 Tage alte Eier	65	25	18	11,6	209	75	
		65	25	24	11,6	278	85	
Polsterwarenkäfer <i>Anthrenus flavipes</i>	Eier	-	26,5	22	38,8	3670	99	SU & SCHEFFRAHN 1990
	Larve				7,11	156		
	Käfer				3,55	78		
Tabakkäfer <i>Lasioderma serricorne</i>	Eier	-	26,5	22	32,35	712	99	
	Larve				2,54	56		
	Käfer				1,59	35		
Dornspeckkäfer <i>Dermestes maculatus</i>	Eier	-	26,5	22	34,93	768	99	
	Larve				1,27	28		
	Käfer				1,30	29		

Art	Stadium	r. F [%]	Temp. [°C]	Zeit [h]	Konz. SF [g/m ³]	ct-Produkt [gh/m ³]	Mortalität [%]	Literatur
Termiten								
Gelbfußtermiten <i>Reticulitermes flavipes</i>	Larven 3. Stadium, Nymphen	80	27	22	-	20,02	99	OSBRINK ET AL. 1987
Dark southern drywood Termiten <i>Kalotermes approximatus</i>	Larven 3. Stadium, Nymphen	80	27	22	-	44,29	99	
Pacific dampwood Termiten <i>Zootermopsis angusticollis</i>	Larven 3. Stadium, Nymphen	80	27	22	-	34,98	99	
Holzschädlinge im Forst								
Asiatischer Laubholzkäfer <i>Anoplophora glabripennis</i>	Larve	-	10,0	24	104-120	2496-2880	100	BARAK ET AL. 2006
			15,6					
			21,1					
	Puppe	-	15,6	24	104	2496	100	
21,1								
Holzschädlinge im Gebäude								
Anobiid powderpost beetle <i>Euvrilletta peltata</i>	1-7 Tage alte Eier		22,2			470	99	WILLIAMS & SPRENKEL 1990
Brauner Splintholzkäfer <i>Lyctus brunneus</i>	1-7 Tage alte Eier		22,2			289	99	
Western death-watch beetle <i>Hemicoeelus gibbicollis</i>	Eier	-	22,2	-	-	500	99	THOMS & SCHEFFRAHN 1994
Amerikanischer Splintholzkäfer <i>Lyctus planicollis</i>	Eier	-	26,1	-	-	512	95	THOMS & SCHEFFRAHN 1994

Tabelle 56: Zusammenstellung der für die Begasung verwendeten Prüfklotze

Prüfklotz-Nummer	Größe [cm]	Holzart
1	160 x 160 x 230	Fichte
2	160 x 160 x 230	Kiefer
3	160 x 160 x 150	Fichte
4	160 x 160 x 150	Kiefer
5	160 x 160 x 110	Fichte
6	160 x 160 x 110	Lärche
7	160 x 160 x 230	Fichte
8	160 x 160 x 150	Fichte
9	160 x 160 x 110	Fichte

Tabelle 57: Kontingenz zur Sofortkontrolle und Nachkontrolle beim Schädling *Anobium punctatum* zum Signifikanzniveau 0,05 (4. Begasung, ct-Produkt 120 gh/m³)

Erwartete Häufigkeit	lebend	tot	Total
1	7	5	12
	4	8	
2	1	11	12
	4	8	
Total	8	16	24

χ^2 -Test, exakt: p = 0,0272

Tabelle 58: Kontingenz zur Sofortkontrolle und Nachkontrolle beim Nützling *Korynetes caeruleus* zum Signifikanzniveau 0,05 (4. Begasung, ct-Produkt 120 gh/m³)

Erwartete Häufigkeit	lebend	tot	Total
1	5	7	12
	4	8	
2	3	9	12
	4	8	
Total	8	16	24

χ^2 -Test, exakt: p = 0,6668

Tabelle 59: Mittelwerte der von Buntkäferlarven gefressenen Futtertierlarven (*Lasioderma serricorne*) pro Woche für die Arten *Korynetes caeruleus*, *Opilo domesticus*, *Opilo mollis* und *Tillus elongatus* mit Fütterungszeitraum

Probennummer	Spezies	Fütterungszeitraum	Anzahl der Wochen	Anzahl gefressener Futterlarven	Anzahl gefressener Futterlarven/Woche	Standardabweichung	Entwicklungszustand
Probe 1	<i>Korynetes caeruleus</i>	14.07.06-10.01.08	78	128	1,6	0,7	verstorben
Probe 4	<i>Korynetes caeruleus</i>	22.01.07-26.10.07	40	118	3,0	1,7	verstorben
Probe 11	<i>Korynetes caeruleus</i>	22.11.07-04.09.08	41	100	2,4	1,3	Larve
Probe 12	<i>Korynetes caeruleus</i>	22.11.07-04.09.09	41	109	2,7	1,5	Larve
Probe 13	<i>Korynetes caeruleus</i>	22.11.07- 04.09.08	41	86	2,1	1,1	Larve
Probe 14	<i>Korynetes caeruleus</i>	22.11.07-24.04.08	22	58	2,6	1,4	verstorben
Probe 15	<i>Korynetes caeruleus</i>	22.11.07-04.09.08	41	105	2,6	1,4	Larve
Probe 16	<i>Korynetes caeruleus</i>	28.05.08-04.09.08	14	29	2,1	1,0	Larve
Probe 17	<i>Korynetes caeruleus</i>	28.05.08-04.09.08	14	12	0,8	0,2	verstorben
Probe 18	<i>Korynetes caeruleus</i>	28.05.08-04.09.08	14	39	2,8	1,5	Larve
Probe 19	<i>Korynetes caeruleus</i>	28.05.08-04.09.08	14	25	1,8	0,8	Larve
Probe 20	<i>Korynetes caeruleus</i>	28.05.08-04.09.08	14	34	2,4	1,3	Larve
Probe 21	<i>Korynetes caeruleus</i>	28.05.08-04.09.08	14	42	3,0	1,7	Larve
Probe 22	<i>Korynetes caeruleus</i>	28.05.08-24.06.08	4	8	2,1	1,0	verstorben
Probe 23	<i>Korynetes caeruleus</i>	28.05.08-04.09.08	14	40	2,8	1,6	Larve
Probe 24	<i>Korynetes caeruleus</i>	28.05.08-04.09.08	14	41	2,9	1,6	Larve
Probe 25	<i>Korynetes caeruleus</i>	28.05.08-04.09.08	14	29	2,1	1,0	Larve
Probe 26	<i>Korynetes caeruleus</i>	17.06.08-04.09.08	11	42	3,7	2,2	Larve
Probe 27	<i>Korynetes caeruleus</i>	18.06.08-04.09.08	11	33	2,9	1,6	Larve
Probe 28	<i>Korynetes caeruleus</i>	18.06.08-04.09.08	11	28	2,5	1,4	verstorben
Probe 29	<i>Korynetes caeruleus</i>	18.06.08-04.09.08	11	32	2,8	1,6	Larve
Probe 30	<i>Korynetes caeruleus</i>	18.06.08-04.09.08	11	35	3,1	1,8	Larve
Probe 31	<i>Korynetes caeruleus</i>	18.06.08-04.09.08	11	38	3,4	2,0	Larve
Probe 2	<i>Opilo domesticus</i>	14.07.06-10.01.08	78	140	1,8	0,2	verstorben
Probe 5	<i>Opilo domesticus</i>	22.01.07-16.11.07	43	169	4,0	1,7	Käfer/verstorben
Probe 3	<i>Opilo mollis</i>	22.08.06-30.08.07	53	88,5	1,7	0,9	Protozoentest /getötet
Probe 8	<i>Opilo mollis</i>	20.07.07-10.07.08	51	114	2,2	1,3	verstorben
Probe 9	<i>Opilo mollis</i>	20.07.07-04.09.08	59	137	2,3	1,4	Larve
Probe 10	<i>Opilo mollis</i>	20.07.07-04.09.08	59	153	2,6	1,6	Larve
Probe 6	<i>Tillus elongatus</i>	20.07.07-04.09.08	59	138	2,3	1,3	Larve
Probe 7	<i>Tillus elongatus</i>	20.07.07-12.06.08	47	76	1,6	0,8	in Verpuppung gestorben
Mittelwert				71,8	2,5		
Std.abw.				51,3	0,7		

Tabelle 60: Gewicht der für die Begasung mit Sulfuryldifluorid eingesetzten Larven (Ap = *A. punctatum*, Kc = *K. caeruleus*)

Nr.	1. Begasungsversuch 30 g/cm ³ , 72 h			2. Begasungsversuch 10 g/cm ³ , 72 h			3. Begasungsversuch 5 g/cm ³ , 72 h			4. Begasungsversuch 5 g/cm ³ , 24 h		
	Kc [g]	Ap [g]	Prüf-klotz-Nr.	Kc [g]	Ap [g]	Prüf-klotz-Nr.	Kc [g]	Ap [g]	Prüf-klotz-Nr.	Kc [g]	Ap [g]	Prüf-klotz-Nr.
behandelte Proben												
1	0,002	<0,001	1	0,003	0,008	1	0,004	0,008	1	0,005	0,006	1
2	0,003	0,001	1	0,005	0,004	1	0,007	0,011	1	0,004	0,008	1
3	0,007	0,003	2	0,004	0,004	2	0,003	0,008	2	0,003	0,009	2
4	0,005	0,002	2	0,002	0,005	2	0,005	0,009	2	0,003	0,007	2
5	0,006	0,002	3	0,003	0,003	3	0,006	0,007	3	0,002	0,006	3
6	0,004	0,001	3	0,004	0,004	3	0,006	0,011	3	0,003	0,007	3
7	0,006	0,003	4	0,003	0,003	4	0,005	0,007	4	0,004	0,007	4
8	0,006	0,003	4	0,003	0,002	4	0,006	0,009	4	0,004	0,004	4
9	0,004	0,030	5	0,004	0,004	5	0,005	0,007	5	0,008	0,009	5
10	0,003	0,003	5	0,004	0,003	5	0,004	0,005	5	0,004	0,007	5
11	0,005	0,002	6	0,003	0,002	6	0,006	0,006	6	0,003	0,009	6
12	0,004	0,001	6		0,005	6	0,005	0,008	6	0,002	0,005	6
unbehandelte Proben												
13	0,002	0,004	7	0,010	0,002	7	0,004	0,010	7	0,003	0,005	7
14	0,004	0,002	7	0,002	0,007	7	0,004	0,010	7	0,006	0,007	7
15	0,005	0,004	8	0,009	0,005	8	0,005	0,007	8	0,003	0,005	8
16	0,003	0,004	8	0,005	0,006	8	0,004	0,007	8	0,004	0,007	8
17	0,004	0,009	9	0,010	0,002	9	0,005	0,006	9	0,006	0,003	9
18	0,005	0,013	9	0,003	0,001	9	0,004	0,007	9	0,003	0,011	9

Abbildung 52: Klimaverlauf bei den behandelten Proben vor, während und nach der Begasung mit 5 g/m^3 Sulfuryldifluorid für 24 Stunden von Anobien und Cleriden

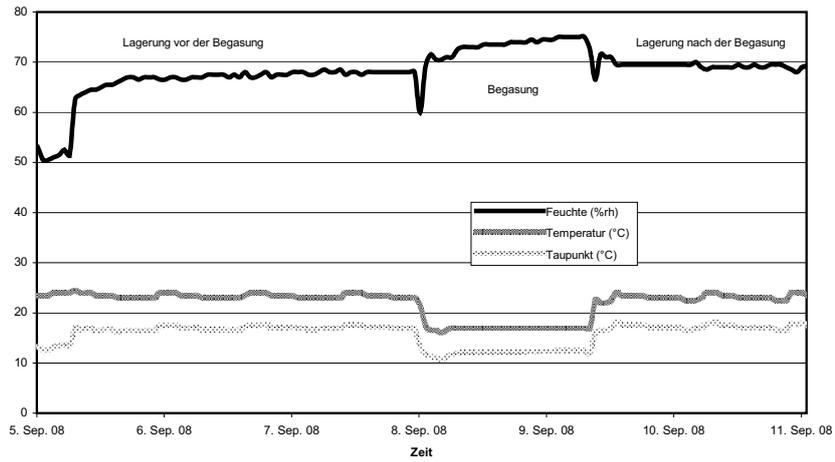
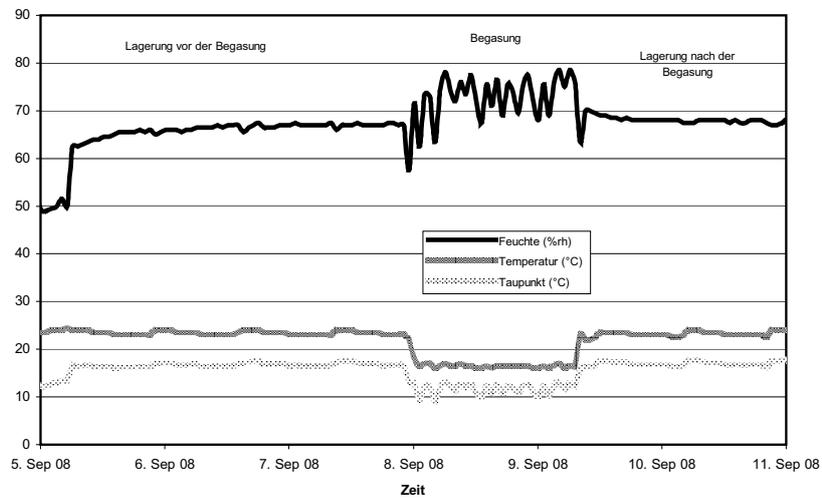


Abbildung 53: Klimaverlauf bei den unbehandelten Proben vor, während und nach der Begasung mit 5 g/m^3 Sulfuryldifluorid für 24 Stunden von Anobien und Cleriden



8.3 Apparative Schadensdiagnose

Tabelle 61: Übersicht zu Anzahl von Prüfflächen und Bohrungen an den für die Bohrwiderstandsmessungen verwendeten Hölzern mit Befall durch die Zielorganismen und biotische Sekundärschäden

Nr.	Zielorganismus	Sekundärbefall	Holzart	Prüfkörpergröße Höhe x Breite x Dicke [cm]	Anzahl der Prüf- flächen	Anzahl der Bohr- ungen
1	<i>Anobium punctatum</i>	-	Fichte	24,5 x 40 x 9,5	9	67
2				16,5 x 23,5 x 24,5		
3				25 x 20 x 9,5		
4				17 x 9,5 x 9,5		
5				15 x 11,5 x 12,5		
6				24 x 12 x 10		
7				24 x 20 x 9,5		
8	<i>Anobium punctatum</i>	-	Kiefer	12 x 16,5 x 17,5	22	173
9				12 x 10 x 17,5		
10				19 x 11,5 x 5,5		
11				27 x 16,5 x 7		
12				20 x 13 x 11,5		
13				13,5 x 10,5 x 3		
14				36 x 13 x 3		
15				14,5 x 11 x 3		
16				36 x 14,5 x 3		
17	41 x 6,5 x 4,5					
18	<i>Anobium punctatum</i>	<i>Hylotrupes bajulus</i> (Col., Cerambycidae)	Kiefer	13 x 17 x 15,5	8	56
19				15,5 x 17 x 15,5		
20				14,5 x 17 x 15,5		
21				15 x 17 x 15,5		
22	36 x 6 x 4					
23	<i>Anobium punctatum</i>	Braunfäulepilze sp. Frischholzinsekten sp.	Kiefer	19 x 18 x 9,5	2	18
24				21 x 19 x 9,5		
25	<i>Xestobium rufillosum</i>	Braunfäulepilze sp.	Eiche	18 x 17 x 15	10	82
26				22 x 13,5 x 8		
27				34 x 22 x 11 (15)		
28				31 x 18 x 15		
29	21 x 8 x 16					
30	<i>Ptilinus pectinicornis</i>	-	Rot- buche	37 x 18 x 6	3	27
31	<i>Ptilinus pectinicornis</i>	Weißfäulepilze sp.	Rot- buche	30 x 12 x 4	3	27
Σ					57	450

Tabelle 62: Übersicht zu den Holzprüfkörpern der für die Ultraschallechomessung verwendeten Holzproben mit Befall durch die Zielorganismen und biotische Sekundärschäden

Nr.	Zielorganismus	Sekundärbefall	Holzart	Prüfkörpergröße Höhe x Breite x Dicke [cm]
1	<i>Anobium punctatum</i>	-	Fichte	24 x 12 x 10
2	<i>Anobium punctatum</i>	-	Kiefer	41 x 6,5 x 4,5
3	<i>Anobium punctatum</i>	Frischholzinsekten	Lärche	66 x 21 x 27
4	<i>Anobium punctatum</i>	-	Fichte	80 x 26 x 30 (13)
5	<i>Xestobium rufosetosum</i>	Braunfäulepilze sp.	Eiche	34 x 22 x 11 (15)
6	<i>Ptilinus pectinicornis</i>	Weißfäulepilze sp.	Rotbuche	30 x 12 x 4
7	<i>Ptilinus pectinicornis</i>	-	Rotbuche	37 x 18 x 6
8	<i>Ptilinus pectinicornis</i>	-	Rotbuche	30 x 16 x 6,5
9	<i>Ptilinus pectinicornis</i>	-	Rotbuche	31 x 17 x 6,5

Die Proben Nummern 1 und 2 sowie 5 bis 7 wurden für die Ultraschallecho- und anschließend für die Bohrwiderstandsmessung verwendet.

Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr.-Ing. Ulrich Diederichs für die Übernahme des Hauptreferates und die Unterstützung zur Promotion an der Universität Rostock. Er stand mir in einer Vielzahl von fachlichen Gesprächen stets mit wertvollen Hinweisen und Lösungsvorschlägen zur Seite und unterstützte mich auf vielfältige Weise.

Einen großen Anteil am Gelingen dieser Arbeit hat Frau Prof. Dr. rer. nat. Claudia von Laar von der Hochschule Wismar. Ihr danke ich in besonderem Maße für ihr großes persönliches Engagement. Jederzeit hatte sie für meine Anliegen ein offenes Ohr. Ihre kontinuierliche Unterstützung und ihre Motivation haben in nicht unerheblichem Maße zur Entstehung dieser Arbeit beigetragen.

Für die Möglichkeit Zuchtversuche und Begasungen am Julius Kühn-Institut durchzuführen danke ich in besonderem Maße Herrn Direktor Prof. Dr. rer. nat. Dr. agr. habil. Christoph Reichmuth. Ohne die hervorragende Zusammenarbeit mit seinem Institut, wären wichtige Teile der Arbeit nicht möglich gewesen. Sehr zu Dank verpflichtet bin ich auch Frau Brigitte Hennig welche die Buntkäferzucht über die Jahre betreut hat. Für die freundliche Aufnahme am Institut für Vorratsschutz danke ich allen Mitarbeitern.

Herrn Dr. rer. nat. Uwe Noldt vom Johann Heinrich von Thünen-Institut danke ich sehr für die Einführung in das Detmolder Projekt und seine wertvollen Anregungen für ein Monitoring der Holzinsekten. Für die ausführlichen wissenschaftlichen Diskussionen und sein großes Interesse an dieser Arbeit danke ich vielmals.

Ein herzlicher Dank gilt Herrn Prof. Dr. rer. nat. Dr. agr. habil. Roland Gerstmeier von der TU München. Seine Einführung in die Welt der Buntkäfer und die fachliche Unterstützung in zoologischen Fragen sowie seine menschliche Nähe haben sehr zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen.

Ein großes Dankeschön geht an Herrn Dr. rer. nat. Eckard Moll (JKI) für seine freundliche Beratung in statistischen Fragen und die Möglichkeit mich jederzeit mit einem Anliegen an ihn wenden zu können.

Der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) danke ich für die fachliche Unterstützung, namentlich Herrn Dr. rer. nat. Rudy Plarre für die großzügige Bereitstellung von Nagekäferlarven aus seiner Anobienzucht sowie Herrn Dr.-Ing. Andreas Hasenstab und Herrn Dr. rer. nat. Kurt Osterloh für die Anfertigung von Röntgenaufnahmen und die Möglichkeit Untersuchungen mit Ultraschalltechnik am Fachbereich durchzuführen.

Des Weiteren danke ich Frau Prof. Dr. rer. nat. habil. Marion Wienecke und Frau Dr.-Ing. Antje Schütz vom Institut für Oberflächen- und Dünnschichttechnik der Hochschule Wismar für ihre Unterstützung rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen anfertigen zu können.

Ein Dankeschön geht ebenso an Frau Dr. rer. silv. Veronika Pohris für Ihre Hinweise zu forstlicher Literatur und die Möglichkeit, das Binokular am Institut für Waldbau und Forstschutz der TU Dresden während meines Heimataufenthaltes nutzen zu können.

Meine Promotionsarbeit wurde von der Hochschule Wismar durch ein Stipendium gefördert. Ich danke sehr für diese gewährte Unterstützung. Zugleich danke ich der Ev.-Luth. Landeskirche Mecklenburgs für die finanzielle Förderung des Projektes.

Nicht zuletzt möchte ich auch den Kirchengemeinden und Museen des Landes Mecklenburg-Vorpommern danken. Sie haben ihre Bauwerke für die Untersuchung unkompliziert bereitgestellt und der Arbeit ein großes Interesse entgegengebracht.

Danken möchte ich auch meinen Eltern, meinem Bruder und der ganzen Familie für den geistigen Ausgleich und ihre stete Aufmunterung am gesetzten Ziel festzuhalten. Für unseren Sohn Henry waren die zurückliegenden 5 Jahre eine spannende Zeit. Ob im Bauwerk oder Labor, er war gern dabei.

Ohne die immerwährende Unterstützung und das Verständnis meiner Ehefrau Vera wäre die Arbeit nicht möglich gewesen. Ihr gilt mein allergrößter Dank. Für ihre Hilfe zu jeder Zeit, die Begleitung zu den zeitaufwendigen Felduntersuchungen in Mecklenburg, ihre vielen geistreichen Anregungen und für die kritische Durchsicht des Manuskripts sage ich ihr von Herzen Dank. Sie ist die beste Ehefrau.

Rostock im Juni 2009

Tilo Haustein

Selbständigkeitserklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als diese kenntlich gemacht.

Bei der Auswertung des Materials sowie bei der Herstellung des Manuskriptes habe ich Unterstützungsleistungen folgender Personen erhalten:

Prof. Dr.-Ing. Ulrich Diederichs
Prof. Dr. rer. nat. Claudia von Laar
Dr. rer. nat. Uwe Noldt
Prof. Dr. rer. nat. Dr. agr. habil. Christoph Reichmuth
Prof. Dr. rer. nat. Dr. agr. habil. Roland Gerstmeier.

Weitere Personen waren an der geistigen Herstellung der vorliegenden Arbeit nicht beteiligt.

Insbesondere habe ich nicht die Hilfe eines Promotionsberaters in Anspruch genommen. Dritte haben von mir weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen für Arbeiten erhalten, die in Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen.

Die Arbeit wurde weder im Inland noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde zum Zwecke der Promotion vorgelegt und ist auch noch nicht veröffentlicht worden.

Ich bestätige, dass ich die Promotionsordnung der Agrar- und Umweltwissenschaftlichen Fakultät der Universität Rostock anerkenne.

Dresden, den 15. Juni 2009

.....
Tilo Hauste

Lebenslauf

Persönliche Daten

Name: Tilo Haustein
Anschrift: Königsteinstraße 8
01277 Dresden
info@haustein-dresden.de
Geburtsdatum /-ort : 26. Juli 1964 in Dresden
Familienstand: verheiratet, ein Kind

Schulische Ausbildung

1971 – 1981 zehnklassige allgemeinbildende polytechnische Oberschule in Dresden
Abschluss: 10. Klasse (Mittlere Reife)
1981 – 1984 Abitur und Berufsausbildung (Baufacharbeiter):
Reifezeugnis und Facharbeiterabschluss

Wehrdienst

1984 – 1986 Grundwehrdienst

Studium

1986 – 1991 Studium des Bauingenieurwesens an der Hochschule für Verkehrswesen
„Friedrich List“ Dresden, Fakultät Bauingenieurwesen und Verkehrs-
infrastruktur, Studienrichtung Verkehrsbau
Diplomarbeit an der Hochschule für Verkehrswesen
„Studie zum Wiederaufbau des Daches des Landtagsgebäudes in Dresden“

Berufliche Erfahrung

1991 – 1993 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Bau-Institut Hamburg-Harburg
GmbH, Bauwerksdiagnostik und Baustoffprüfung, Projektarbeit am
Lehr- und Forschungsbereich Bauphysik und Baustoffe im Bauwesen
der TU Hamburg-Harburg bei Prof. Dr.-Ing. Franke
seit 1993 Bausachverständiger mit den Arbeitsschwerpunkten Baustoff Holz –
Holzschutz – Bautenschutz – Bauphysik – Bauwerkserhaltung und Bau-
schadensfragen, seit 2002 freiberuflich
1999 öffentliche Bestellung und Vereidigung für das Fachgebiet „Bautech-
nischer und chemischer Holzschutz“ durch die Industrie- und Handels-
kammer Dresden

seit 2002	Lehrtätigkeit am Europäischen Institut für postgraduale Bildung an der Technischen Universität Dresden e. V. (EIPOS), Lehrgebiete: Bauen mit Holz sowie zu bauphysikalischen und baubiologischen Themen
2003	öffentliche Bestellung und Vereidigung für das Fachgebiet „Schäden an Gebäuden“ durch die Industrie- und Handelskammer Dresden
seit 2004	Berufung als Mitglied in das Fachgremium Holzschutz an der Industrie- und Handelskammer zu Leipzig
seit 2005	Berufung durch die Vollversammlung der Industrie- und Handelskammer Dresden in den Fachausschuss Sachverständigenwesen
2005 – 2009	Forschungsprojekte an der Hochschule Wismar; Gastwissenschaftler am JKI, Berlin-Dahlem von Juli 2006 bis Februar 2009; Kooperative Projekte mit verschiedenen Bundesforschungseinrichtungen: Johann Heinrich von Thünen-Institut, Institut für Holztechnologie und Holzbiologie (vTI), Hamburg, Julius Kühn-Institut, Institut für ökologische Chemie, Pflanzenanalytik und Vorratsschutz (JKI), Berlin, Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Fachabteilung Zerstörungsfreie Prüfung (BAM), Berlin
seit 2009	Lehrtätigkeit an der Deutschen Immobilien-Akademie an der Universität Freiburg GmbH (DIA), Lehrgebiet Holzschäden